

BERICHTE AUS DER BAUFORSCHUNG**Brandwände,
Brand- und Stoßverhalten**

Untersuchungen
durchgeführt
im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau

von

C. MEYER-OTTENS und J. STEINERT
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
der Technischen Universität Braunschweig

VERTRIEB DURCH VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN
BERLIN · MÜNCHEN



Brandwände, Brand- und Stoßverhalten

**Untersuchungen
durchgeführt
im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau**

von

**C. MEYER-OTTENS und J. STEINERT
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
der Technischen Universität Braunschweig**

Mit 39 Bildern und 17 Zahlentafeln

Berlin 1969

**VERTRIEB DURCH VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN
BERLIN · MÜNCHEN**

Inhalt

Vorwort von o.Professor Dr.-Ing. K. Kordina	Seite 5
Teil I und II	Seite 9
Brand- und Stoßversuche von Reg.Rat Dipl.-Ing. C. Meyer-Ottens Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig	
Teil III	Seite 45
Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von Stoßbeanspruchungen durch Sackpendel von Dr.-Ing. J. Steinert Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig	
Schlußbetrachtung von o. Professor Dr.-Ing. K. Kordina	Seite 57

VORWORT

Wände herkömmlicher Bauart wurden bisher hinsichtlich ihres Tragvermögens und ihrer Feuerwiderstandsdauer sowie ggf. auch hinsichtlich des Wärme- und Schallschutzes untersucht. Tragende Wände, Wohnungstrennwände und Brandabschnittswände müssen nach den bauaufsichtlichen Vorschriften wenigstens die Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F 90 – feuerbeständig – nach DIN 4102 Blatt 2, Ausgabe 1965, erfüllen und darüber hinaus bestimmte Mindestdicken besitzen. Feuerbeständige Wände nach DIN 4102 mit bestimmten Mindestdicken galten bisher als „Brandwände“, wobei die Mindestdicke aufgrund von Erfahrungen festgelegt wurde. Hierdurch wurde eine zusätzliche Tragreserve gegen mechanische Beanspruchungen beim Brand und beim Löschen geschaffen. Dieses zusätzliche Tragvermögen wurde im einzelnen bisher weder genau festgelegt noch durch Versuche nachgeprüft.

Mit der fortschreitenden Entwicklung alter und neuer Bauarten wurde es erforderlich, die besonderen Beanspruchungen von Brandwänden näher festzulegen und die Eignung der Konstruktion durch entsprechende Versuche nachzuweisen.

Die vorliegenden Untersuchungen des Instituts für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig befassen sich mit diesen Fragen – insbesondere mit dem Tragverhalten bei ausmittiger Belastung und der Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbeanspruchung von bisher zugelassenen Brandwänden nach 90 Minuten Brandbeanspruchung. Den Untersuchungsberichten folgt eine Schlußbetrachtung, in welcher Gedanken zur Normung von Brandwänden in den Blättern 3 und 4 von DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, entwickelt werden.

o.Prof. Dr.-Ing. K. Kordina

Teil I und II

Brand- und Stoßversuche

durchgeführt
im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau

von
Reg.Rat Dipl.-Ing. C. Meyer-Ottens

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
der Technischen Universität Braunschweig

Inhalt

Seite

Teil I	Brand- und Stoßversuche	
1.	Allgemeines	9
2.	Allgemeine Brandwand-Bestimmungen, Ziel der Untersuchungen	9
3.	Auswahl der Versuchswände	12
3.1	Übliche Brandwände	12
3.2	Ziegelmontagewände	15
4.	Beschreibung der Versuchswände	15
5.	Versuchsdurchführung, Auswahl der Beanspruchungen	15
5.1	Bestehende Vorschriften	15
5.2	Lagerung der Versuchswände	16
5.3	Belastung der Versuchswände	17
5.4	Feuerbeanspruchung der Versuchswände	19
5.5	Stoßbeanspruchung der Versuchswände	19
5.5.1	Allgemeines	19
5.5.2	Stoßbeanspruchung in der Praxis	20
5.5.3	Vorversuche	21
5.5.4	Stoßbeanspruchung der Versuchswände (Hauptversuche)	22
6.	Versuchsergebnisse	23
6.1	Temperaturmessungen	23
6.2	Beobachtungen während der Brandversuche	23
6.3	Verformungen und Belastung während der Brandversuche	26
6.4	Beobachtungen und Verformungen während der Stoßversuche	26
6.5	Festigkeit der Baustoffe nach den Versuchen	30
7.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	31
8.	Literaturzusammenstellung	31
Teil II	Brand- und Stoßversuche	33
1.	Allgemeines	33
2.	Versuchsprogramm	33
3.	Versuchsdurchführung – Prüfbedingungen	33
4.	Versuchsergebnisse	34
Zusammenfassung Teil I und II		36

Teil I

1. Allgemeines

Im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau, Bad Godesberg, und mit Unterstützung des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie e.V., Bonn, untersuchte das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig, Leitung Direktor o.Prof. Dr.-Ing. Karl Kordina, insgesamt 12 Wände (Teil I) unter exzentrischer Belastung und Feuerbeanspruchung nach DIN 4102 sowie unter einer vierfachen Stoßbeanspruchung nach den Brandversuchen, um einheitliche Beurteilungsgrundsätze und ein allgemein gültiges Prüfverfahren für die Klassifizierung von „Brandwänden“ zu schaffen.

Das Versuchsprogramm wurde durch einen Arbeitskreis festgelegt, dem folgende Herren angehörten:

1. Prof. Dr.-Ing. W. A l b r e c h t, Otto-Graf-Institut an der Technischen Hochschule, Stuttgart
2. Ministerialrat Dr.-Ing. O. B r ö c k e r, Bundesministerium für Wohnungswesen und Städtebau, Berlin
3. Dr.-Ing. H. B u b, Institut für Bautechnik, Berlin
4. o. Prof. Dr.-Ing. K. K o r d i n a
5. Reg.-Rat Dipl.-Ing. C. M e y e r – O t t e n s, beide Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig
6. Prof. Dr.-Ing. H. S e e k a m p, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin.

Bei der Festlegung des Versuchsprogrammes wurden ferner die Wünsche der Arbeitsgruppe Einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB) des Fachnormenausschusses Bauwesen im Deutschen Normenausschuß (DNA) und der Fachkommission Bauaufsicht der Argebau berücksichtigt.

Die Untersuchungen müssen – wie aus Abschnitt 7 dieses Berichtes hervorgeht – noch fortgeführt werden. Der vorliegende Bericht wird daher mit „Teil I“ und die folgende Fortsetzung mit „Teil II“ bezeichnet.

2. Allgemeine Brandwand-Bestimmungen, Ziel der Untersuchungen

Die Verwendung einer Wand mit bestimmter Feuerwiderstandsdauer als Brandwand wurde bisher allein nach DIN 1053 Abschnitt 3.4.1., DIN 4232 Abschnitt 3.5. und nach den Bauordnungen der Länder geregelt – vgl. z.B. § 32, Abs. 1, Bauordnung, Nordrhein-Westfalen und Erlaß vom 11. 11. 1963, Ministerialblatt Nr. 160, Seite 2072 von 1963, ebenfalls des Landes Nordrhein-Westfalen. Diese Vereinbarungen wurden in DIN 4102 Blatt 4 Ausgabe September 1965 in Abschnitt 7.3 einheitlich zusammengefaßt. Danach sind Brandwände:

7.3.1 Wände aus nichtbrennbaren Baustoffen (Klasse A) nach DIN 1053 mindestens 240 mm dick.

7.3.2 Wände aus Beton nach DIN 1047 oder Stahlbeton nach DIN 1045 mindestens 200 mm dick, aus

Schüttbeton nach DIN 4232 mindestens 250 mm dick; sind Wände zug- und schubfest durch mindestens feuerhemmende (F 30) Decken mit tragenden Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen (Klasse A) in Abständen von höchstens 5 m ausgesteift, so genügt für Wände aus Stahlbeton eine Mindestdicke von 140 mm, für Wände aus Beton mit Transportbewehrung eine Mindestdicke von 180 mm.

Darüber hinaus bestehen nach bauaufsichtlichen Vorschriften zusätzliche Möglichkeiten; so können z. B. für aneinander gereihete Wohngebäude bis zu 2 Vollgeschossen zweischalige Wände mit je 11,5 oder 17,5 cm dicken Mauerwerkschalen anstelle von Brandwänden gestattet werden, wenn Massivdecken verwendet werden.

Die nach DIN 4102 Blatt 4 Ausgabe September 1965, Abschnitt 7.3.1 und 7.3.2 (s.o.) üblichen Brandwände sind unter Aufzählung der einschlägigen Normen und der wichtigsten Kennwerte in Bild 1a und 1b noch einmal tabellarisch zusammengefaßt. Baustoffe der Brandwände nach DIN 1053 wurden dabei unterteilt in: Betonbausteine, Mauerziegel und Kalksandsteine, wobei die einzelnen Stein- oder Ziegelgruppen noch weiter klassifiziert wurden. Für die einzelnen Baustoff- und Stein- bzw. Ziegelarten sind in den Spalten 5 bis 7 von Bild 1a auch die Produktionsmengen von 1963 in m³-Mauerwerk und in v.H. nach [1] angegeben. Das Jahr 1963 wurde zugrunde gelegt, weil in diesem Jahr mit der Durchführung des Forschungsauftrages begonnen wurde. Die statistischen Zahlen geben einen Anhalt, welche Verbreitung die einzelnen Baustoffarten in der Bundesrepublik haben, und sie gestatten möglicherweise auch einen Hinweis, welche Bedeutung die einzelnen Baustoffarten für Brandwände besitzen.

In den Spalten 1 – 12 von Bild 1b sind die Berechnungsgewichte nach DIN 1055 Blatt 1 von unverputzten Brandwänden vorgeschriebener Dicke entsprechend den einschlägigen Normen angegeben. Daraus ist ersichtlich, daß das kleinste Berechnungsgewicht einer üblichen Brandwand 192 kg/m² (s. Zeile 4) und das größte Berechnungsgewicht 500 bis 528 kg/m² beträgt (s. Zeile 5 und 15).

Die Bilder 1a und 1b zeigen deutlich, wie unterschiedlich Brandwände hinsichtlich Baustoffart, Dicke, Gewicht und Verbreitung sind.

Für die angeführten üblichen Brandwände gab es bisher keine einheitlichen Beurteilungsgrundsätze oder Anforderungen. Ein Prüfverfahren, wonach das Verhalten von Brandwänden beurteilt werden konnte, gab es bisher auch nicht – weder in DIN 4102, Ausgabe 1940, noch in anderen Bestimmungen. Aus diesem Grund war es z.B. vielfach nicht möglich, Wände als Brandwände zu verwenden, auch wenn sie dieselben feuertechnischen Eigenschaften besaßen wie z.B. die o.a. beschriebenen Brandwände. Ferner war es nicht möglich, dünnere Wände als oben angegeben, als Brandwände einzubauen.

	1	2	3	4	5	6	7
Zeile	Wandart	Für Brandwände übliche Baustoffe, Steinarten und Konstruktionen		Mindest-Wanddicke für Brandwände nach DIN 4102 Bl.4 Ausgabe 1965	Baustoff-Produktionsmengen 1963 ²⁾ (Angaben für 24 cm dickes Mauerwerk unter Berücksichtigung der Fugen)		
	-	-	-	cm	m ³	%	%
1	Wände aus künstlichen Steinen gemauert nach DIN 1053	Betonbausteine	Hohlblocksteine aus Bims-Leichtbeton nach DIN 18 151	24	7 448 973	18,6	38,5 ¹⁾
2			Vollsteine aus Bims-Leichtbeton nach DIN 18 152		3 485 209	8,7	
3			Hohlblock- oder Vollsteine aus Leicht- beton (Schlacke, Ziegelsplitt o.ä.) nach DIN 18 151 und 18 152		3 710 269	9,3	
4			Vollsteine aus Gas- u. Schaumbeton (Porenbeton) nach DIN 4165		421 800	1,0	
5			Hütten- oder Schwemmsteine nach DIN 398		335 610	0,9	
6		Mauerziegel	Lochziegel nach DIN 105		8 827 245	22,1	35,8
7			Vollziegel nach DIN 105		5 480 491	13,7	
8		Kalksandsteine	Vollsteine (incl. Hartsteine) nach DIN 106		7 568 716	18,8	25,8
9			Loch- und Hohlblocksteine nach DIN 106		2 805 332	7,0	
10			Summe		künstliche Steine, insgesamt		40 083 645
11	Wände aus Beton	Beton, unbewehrt	nach DIN 1047	20	unbekannt		
12		Beton mit Trans- portbewehrung	nach DIN 1047	20			
13			bei zug- und schubfester Verbindung mit feuerhemmenden Decken (F 30), deren tragende Teile der Klasse A DIN 4102 entsprechen und gleichzeiti- ger Aussteifung der Wände in max. 5 m Entfernung	18			
14		Stahlbeton		14			
15			nach DIN 1045	20			
16		Geschütteter Leichtbeton	nach DIN 4232; Zuschlagstoff-Bims, Schlacke, Ziegelsplitt o.ä.	25			

Bild 1a: Bisher übliche Brandwände, Produktionsmengen

1) Angaben ohne Platten und Dielen aus Bims-, Ziegelsplitt-, Schlacken-, Porenbeton, u.a.m., für die eine Verwendung als Brandwand nur nach besonderer Zulassung möglich ist.

2) **Betonstein** – Werke mit weniger als 10 Beschäftigten sind in den statistischen Angaben nicht berücksichtigt.

Zeile	Wandart	Für Brandwände übliche Baustoffe, Steinarten und Konstruktionen	Berechnungsgewicht nach DIN 1055 Blatt 1 von unverputzten Brandwänden vorgeschriebener Dicke gemäß Bild 1 a Spalte 4 für folgende Stein- bzw. Betonrohddichten (kg/dm³) entsprechend den einschlägigen Normen												13 Anzahl und Art der im Forschungsauftrag Teil I untersuchten Brandwände. Die Lage der Berechnungsgewichte nach DIN 1055 ist zum Vergleich in den Spalten 1 bis 12 durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet.	14 Geplante Versuche Teil II	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
			0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5			
		-	kg/m²														
1	Wände aus künstlichen Steinen gemauert nach DIN 1053	Hohlblocksteine aus Bims-Leichtbeton nach DIN 18 151	-	-	240	288	312	336	-	-	-	-	-	-	-	2 - 3 Wände aus Bims-Vollsteinen nach DIN 18 152 mit $\gamma = 0,6 \text{ kg/dm}^3$	
2		Vollsteine aus Bims-Leichtbeton nach DIN 18 152	-	240	288	336	360	408	-	-	-	-	-	-	-		
3		Hohlblock- oder Vollsteine aus Leichtbeton (Schlacke, Ziegelsplitt o.ä.) nach DIN 18 151 und 18 152	-	-	240	288	312	336	-	-	-	-	-	-	-	1 Wand aus Schlacken-Hbl Zwk 50/~1,2 DIN 18 151 mit 22 bis 25 % brennbaren Bestandteilen	-
4		Vollsteine aus Gas- u. Schaumbeton (Porenbeton) nach DIN 4165	192	240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 - 3 Wände aus Gas- oder Schaumbeton mit $\gamma = 0,6 \text{ kg/dm}^3$	
5		Hütten- oder Schwemmsteine nach DIN 398	-	-	-	-	-	-	-	-	480 HS	528 HRS	-	-	-	-	
6		Lochziegel nach DIN 105	-	-	288 VHLz	336 HLz	360 LLz	-	-	432 KHLz	-	-	-	-	-	3 Wände aus HLz A 1,4/150 1 1/2 NF	1 Wand bei 300 kp m Schlagenergie HLz A 1,0/150 1 1/2 NP
7		Vollziegel nach DIN 105	-	-	288 PHz	336 PHz	360	-	432 Mz.VMz	480 KMz	-	-	-	-	-	-	-
8		Vollsteine (incl. Hartsteine) nach DIN 106	-	-	-	-	-	408 KSV	432 KSV	-	480 KSV	-	-	-	-	-	-
9		Loch- und Hohlblocksteine nach DIN 106	-	-	228 KS Hbl	336 KSL KS Hbl	360 KSL	408 KSL	-	-	-	-	-	-	-	3 Wände aus KSL 1,4 bis 1,6/150 2 DF	1 Wand bei 300 kp m Schlagenergie KSL 1,2/150 2 DF
10		Künstliche Steine, insgesamt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Wände aus Beton	nach DIN 1047	-	-	-	-	-	-	360	380			460	-	1 Wand B 160, jedoch 14 cm dick	-	
12		nach DIN 1047	-	-	-	-	-	-	je nach Art der Zuschlag-					-			
13		bei zug- und schubfester Verbindung mit feuerhemmenden Decken (F 30), deren tragende Teile der Klasse A DIN 4102 entsprechen und gleichzeitiger Aussteifung der Wände in max. 5 m Entfernung	-	-	-	-	-	-	342	stoffs			414	-	-		
14			-	-	-	-	-	-	256	je nach Art der			350	1 Wand B 300	-		
15		nach DIN 1045	-	-	-	-	-	-	380	Zuschlag-			500	-	-		
16		nach DIN 4232, Zuschlagstoff-Bims, Schlacke, Ziegelsplitt o.ä.	-	-	250		350	400	-	-	-	-	-	-	-	-	- 1)

Bild 1b: Berechnungsgewichte nach DIN 1055 üblicher Brandwände nach Bild 1a, Versuchsprogramm-Übersicht Teil I und II

1) Das Verhalten von geschütteten Leichtbetonwänden nach DIN 4232 kann durch Versuche mit Wänden der Zeilen 1 - 4 und 11/14 beurteilt werden.

Ziel des Forschungsauftrages, Teil I, war es daher, einen Teil der üblichen Brandwände sowie 3 Ziegelmontagewände unter einheitlichen Prüfbedingungen zu untersuchen, wobei die Brandwände folgenden drei Beanspruchungen widerstehen sollten:

1. einer Beanspruchung durch exzentrische Belastung,
2. einer 90-Minuten-Feuerbeanspruchung nach DIN 4102 und
3. einer bzw. mehreren Stoßbeanspruchungen nach dem Brandversuch.

Die Art und Größe der Belastung und Stoßbeanspruchung sollte so festgelegt werden, daß die raumabschließende Wirkung der Brandwände unter den gewählten Beanspruchungen nach einem 90-Minuten-Brandversuch im Sinne von DIN 4102 gerade noch voll wirksam ist. Für die Ermittlung dieser Grenzbelastungen – insbesondere bei der Stoßbeanspruchung – sollten die möglicherweise bestehenden ausländischen Versuchserfahrungen mitberücksichtigt werden.

Aus den gewonnenen Erfahrungen sollen Prüf- und Beurteilungsgrundsätze für Brandwände für DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Blatt 3, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen von Sonderbauteilen, aufgestellt werden.

3. Auswahl der Versuchswände

3.1 Übliche Brandwände

Aus den in Bild 1 zusammengestellten, üblichen Brandwänden wurden vom zuständigen Arbeitskreis 5 Wandtypen bei insgesamt 9 Versuchen ausgewählt. Jede übliche Baustoff- oder Steinart war damit in wenigstens einem Versuch bei den Prüfungen wie folgt vertreten:

1. Gruppe der Betonbausteine (Zeile 1–5, Bild 1): 1 Wand aus Schlacken-Hohlblocksteinen, ZWK 50/~1,2 DIN 18 151 mit 22 bis 25 % brennbaren Bestandteilen. Nach DIN 18 151 Abschn. 2.2 dürfen Hohlblocksteine aus Leichtbeton höchstens 20 Gew.-% brennbare Bestandteile besitzen. Um ungünstige Voraussetzungen zu schaffen, wurden in einer Sonderanfertigung⁺⁾ die o.a. Steine mit 22 bis 25 % brennbaren Bestandteilen bei möglichst niedrigem Raumgewicht hergestellt. Nach Meinung des Arbeitskreises besaß diese Wand bezüglich der drei geforderten Beanspruchungen (vergl. Abschnitt 2) die ungünstigsten Voraussetzungen, so daß weitere Versuche an Betonsteinwänden der Zeilen 1, 2, 4 und 5 Bild 1 zunächst nicht notwendig erschienen.

2. Gruppe der Mauerziegel (Zeile 6–7, Bild 1): 3 Wände aus Hochlochziegeln HLz A 1, 4/150 1 1/2 NF DIN 105. Hochlochziegel wurden Mz, PMz, VMz, KMz, VHLz und KHLz vorgezogen, da sie nach den vorliegenden

Erfahrungen für die geforderten Beanspruchungen die ungünstigsten Voraussetzungen besaßen. Die Frage der Verwendung von Langlochziegeln, LLz, in Brandwänden, die sich nach den vorliegenden Versuchserfahrungen noch ungünstiger als HLz verhalten, wurde ausgeklammert, da Brandwände aus solchen Ziegeln normalerweise nicht hergestellt werden.

Es sollten also HLz mit möglichst niedrigem Raumgewicht – wenn lieferbar mit $\gamma = 1,0$ bis $1,2 \text{ kg/dm}^3$ – geprüft werden. Wegen Herstellungsschwierigkeiten wurden schließlich HLz mit $1,25$ bis $1,31 \text{ kg/dm}^3$ untersucht.

3. Gruppe der Kalksandsteine (Zeile 8–9, Bild 1): 3 Wände aus Kalksandlochsteinen, KSL 1,4 bis 1,6/150 2DF DIN 106.

Kalksandlochsteine wurden KSV vorgezogen, da sie sich nach den vorliegenden Versuchserfahrungen ungünstiger verhalten. KS Hbl dürften etwa ähnliche Ergebnisse wie die gewählten KSL ergeben. Da KS Hbl nur sehr wenig hergestellt werden – nach Angaben des Bundesverbandes der Kalksandsteinindustrie insgesamt $\approx 25 \%$ der gesamten Kalksandsteinproduktion – und da KS Hbl nach Angaben desselben Verbandes nur sehr wenig für Brandwände verwendet werden, wurden nur Wände aus KSL mit Raumgewichten von rd. $1,47 \text{ kg/dm}^3$ untersucht. KSL mit niedrigerem Raumgewicht waren nicht lieferbar.

4. Gruppe der unbewehrten Betonwände (Zeile 11, Bild 1): 1 Wand aus B 160, 14 cm dick.

Unbewehrte Betonwände müssen nach den geltenden Vorschriften als Brandwände mindestens 20 cm dick sein. Stahlbetonwände brauchen unter Beachtung von Spalte 5, Bild 1, im Minimum dagegen nur 14 cm dick zu sein. Um bessere Vergleichsmöglichkeiten zur untersuchten 14 cm dicken Stahlbetonwand zu haben, wurde die unbewehrte Betonwand auch nur 14 cm dick hergestellt. Sie stellt daher den ungünstigsten Fall dar, gibt Vergleichsmöglichkeiten zur Stahlbetonwand und gestattet – je nach Versuchsergebnis – eine Extrapolation zu Beton-Brandwänden nach Zeile 12–13, Bild 1.

5. Gruppe der Stahlbetonwände (Zeile 14–15, Bild 1): 1 Wand, B 300. Es wurde die ungünstigste Stahlbetonwand mit 14 cm Dicke gewählt. Wände aus geschüttem Leichtbeton nach DIN 4232 in 25 cm Dicke – bewehrt oder unbewehrt – gemäß Zeile 16, Bild 1, wurden nicht untersucht, da der Arbeitskreis der Meinung war, daß das Verhalten dieser Wände bei den Versuchen nach den Zeilen 3, 11 und 14, Bild 1, mit beurteilt werden kann.

Ein zusammenfassender Überblick über die durchgeführten Versuche (Teil I) entsprechend den vorstehend beschriebenen Erläuterungen ist in Spalte 13 von Bild 1b wiedergegeben. Die Lage der Berechnungsgewichte nach DIN 1055 der untersuchten Wände ist zum Vergleich zu den nach den einschlägigen Normen möglichen Berechnungsgewichten in den Spalten 1–12, Bild 1b, durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet.

⁺⁾ Die Schlackenhohlblocksteine wurden dankenswerter Weise kostenlos unter Vermittlung des Bundesverbandes Deutsche Beton- u. Fertigteilindustrie eV. von der Fa. Schlackenverwertung Paul Illig, Stuttgart, hergestellt und angeliefert.

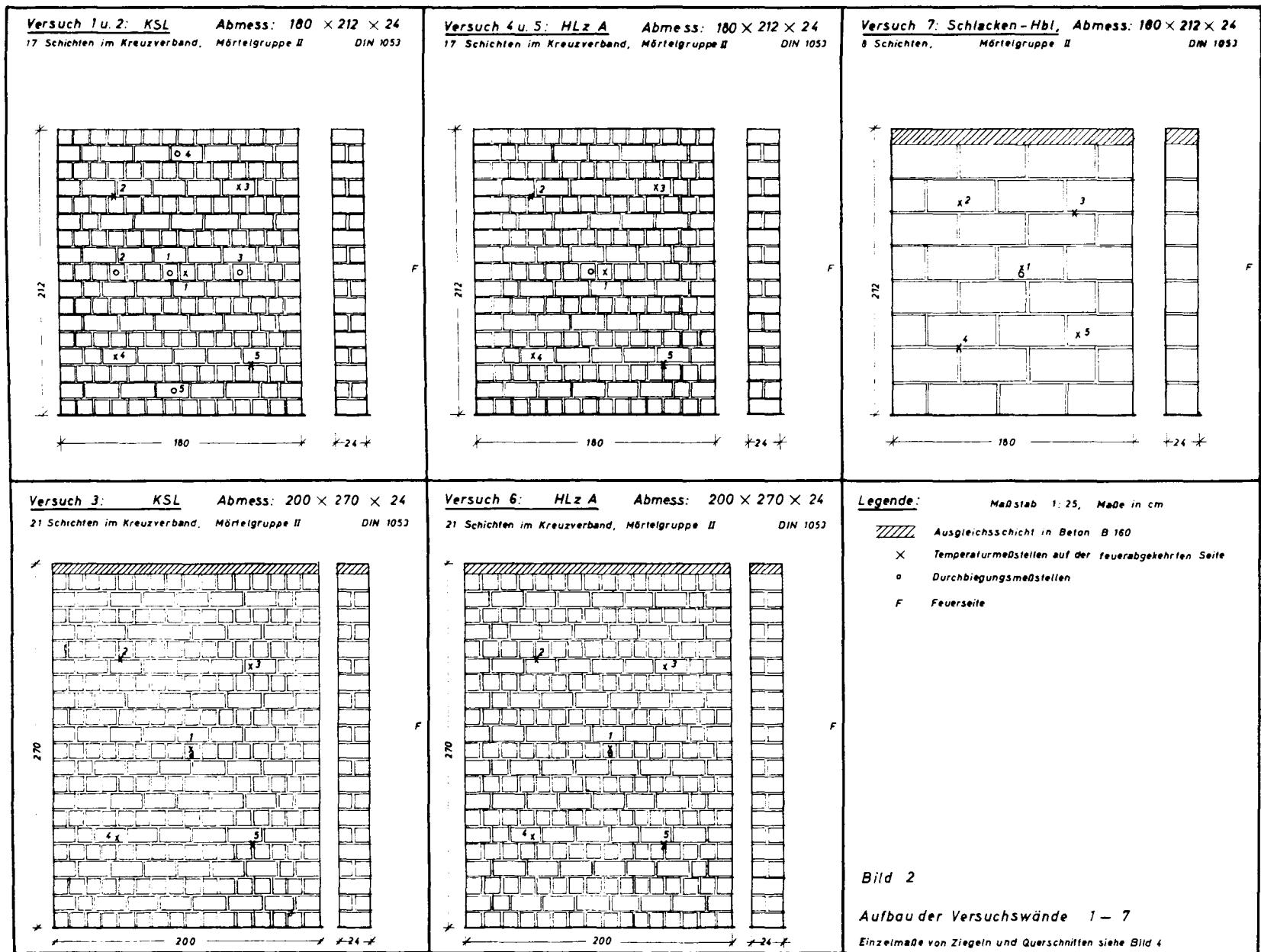
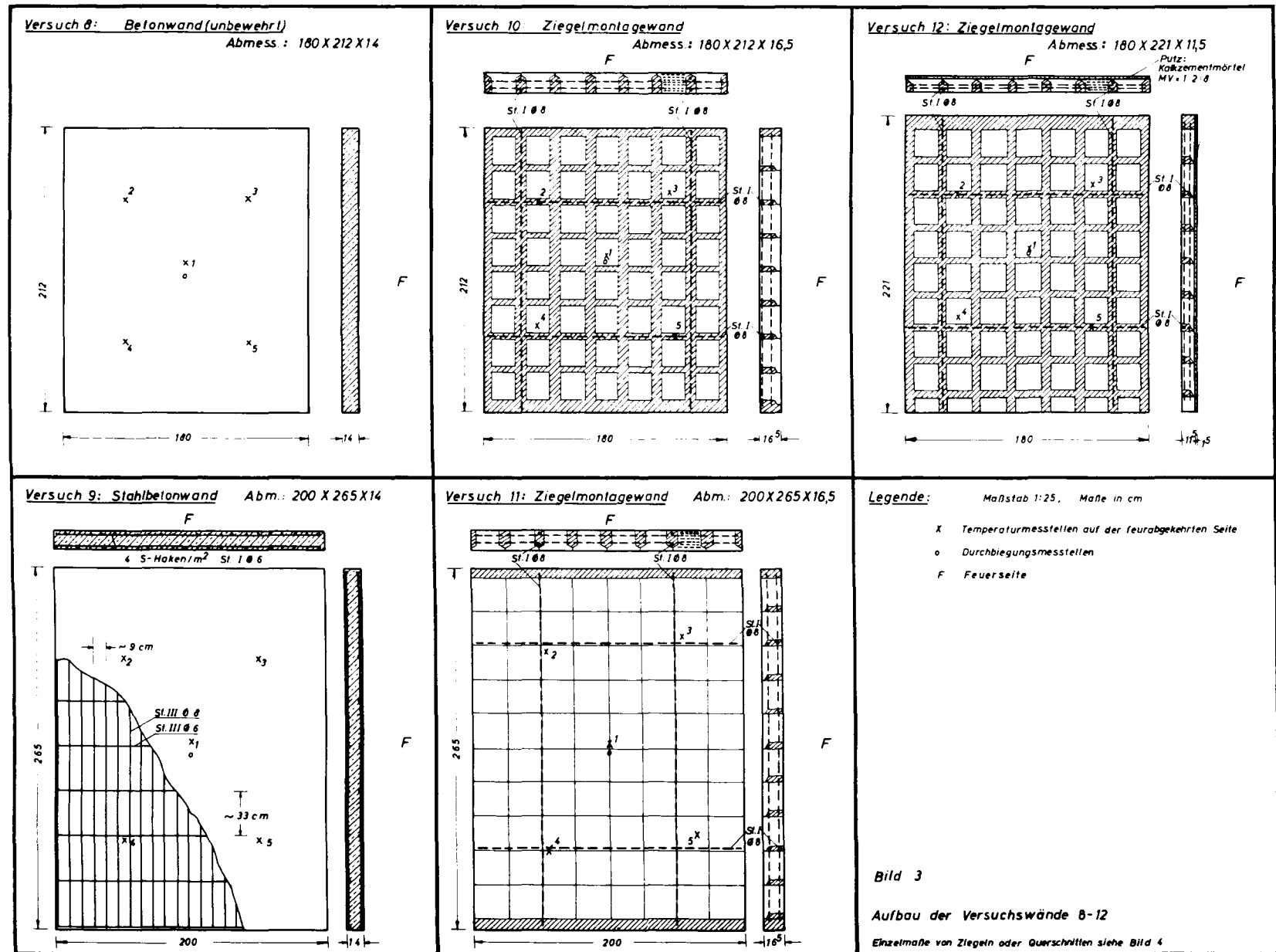


Bild 3: Aufbau der Versuchswände 8-12



3.2 Ziegelmontagewände

Die Ziegelmontagebauweise ist nach [2] eine Bauweise, die eine immer stärkere Verbreitung findet. Aus diesem Grunde wurden nach Zustimmung des Arbeitskreises zusätzlich 3 Ziegelmontagewände^{*)} mit Deckenziegeln der folgenden Arten

1 Wand mit Dzv~0,6 - 160 - 250 x 250 x 115 DIN 4159 und

2 Wände mit Dzv~0,9 - 225 - 250 x 250 x 165 DIN 4159

in derselben Weise wie die Brandwände untersucht.

4. Beschreibung der Versuchswände

Die Versuchswände sind in ihrem Aufbau und in ihren Abmessungen in den Bildern 2 und 3 dargestellt. Die Wandhöhe mußte bei 8 Wänden aus ofentechnischen Gründen mit 212 – 221 cm gewählt werden. Die restlichen 4 Versuchswände konnten nach dem Bau einer neuen Versuchsanlage bei 265 cm Wandhöhe untersucht werden. Die Wanddicken entsprachen den Brandwand-Bestimmungen, wobei die unbewehrte Betonwand jedoch nur 14 cm dick war, vergl. auch Abschnitt 3.1.4 dieses Berichtes. Die Ziegelmontagewände waren 16,5 und 11,5 cm dick. Weitere Einzelheiten sind den Bildern 2 und 3 zu entnehmen.

Alle Versuchswände wurden im übrigen nach den einschlägigen Normen und Richtlinien [3, 4, 5 und 6] errichtet und konstruiert. Die Beton- und Ziegelmontagewände wurden liegend hergestellt und nach dem Erreichen der vorgeschriebenen Festigkeit aufgerichtet. Die Stahlbetonwand wurde nach [4] mit dem Mindestbewehrungsgehalt von 0,8 v.H. der Querschnittsfläche bewehrt, wobei auch die Anforderungen an Stabdurchmesser, Querbewehrung, Verbügelung durch S-Haken usw. eingehalten wurden. Die Ziegelmontagewände wurden nach [6] und nach den Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie bewehrt.

Die wichtigsten Kenn- und Normwerte der verwendeten Baustoffe sind in Bild 4 wiedergegeben. Daraus ist auch das Alter der Versuchswände zum Zeitpunkt der Brandversuche ersichtlich. Die Versuchswände 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10 und 12 lagerten bis zur Prüfung in einer Halle mit durchschnittlich 15° C Lufttemperatur und 70 bis 80 % rel. Luftfeuchtigkeit; die Versuchswände 3, 6, 9 und 11 lagerten entsprechend bei rd. 20° C und 60 bis 70 % rel. Luftfeuchtigkeit.

5. Versuchsdurchführung, Auswahl der Beanspruchungen

5.1 Bestehende Vorschriften

Für die Bemessung und Ausführung und damit auch für die Lagerung von Brandwänden sind im wesentlichen die Bestimmungen [3 – 5] maßgebend. Hinsichtlich der

^{*)} Die Deckenziegel Dzv wurden dankenswerter Weise kostenlos durch den Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. zur Verfügung gestellt.

Bemessungsgrößen für Betonwände unterscheiden sich hierbei die Bestimmungen [4] und [5] geringfügig, weshalb für die Versuchswände die versuchstechnisch etwas ungünstigeren Anforderungen nach [4] nach Rücksprache mit dem Arbeitskreis zugrundegelegt wurden.

Für Ziegelmontagewände gibt es z.Z. noch keine bauaufsichtlich eingeführten Ausführungsbestimmungen. Es wurde deshalb nach den Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie [6] verfahren.

Für die hier infrage stehenden Wände gelten somit die folgenden Richtlinien bzw. Bestimmungen, die in ihren wichtigsten Punkten wiedergegeben werden und die in Bild 5 stichwortartig zusammengestellt sind:

1. Gemauerte Wände aus künstlichen Steinen nach [3], vergl. Zeile 1 – 10, Bild 1

Belastete Wände – Außenwände oder Innenwände – müssen durch Querwände ausreichend ausgesteift sein. Die aussteifenden Querwände müssen im allgemeinen mit den auszusteifenden belasteten Wänden gleichzeitig hochgeführt und mit ihnen im Verband gemauert werden. Der Mittenabstand der aussteifenden Querwände muß bei Brandwänden mit Minimumdicke von 24 cm bei einer maximal zulässigen Geschoßhöhe von 3,50 m im allgemeinen $\leq 8,00$ m sein! Für derartige Wände gelten die zulässigen Spannungen (Kantenspannungen) der Tafel 5 nach [3].

Für Pfeiler und nicht ausgesteifte Wände gelten in Abhängigkeit vom Schlankheitsgrad die abgeminderten zulässigen Spannungen (Kantenspannungen) der Tafel 6 nach [3]. Bei Schlankheiten > 14 ist nur mittige Belastung zulässig. Die unausgesteifte Wandhöhe ist in Abhängigkeit von Schlankheitsgrad und Spannung nach [3] begrenzt.

2. Beton- und Stahlbetonwände nach [4], vergl. Zeile 11 – 16, Bild 1

Unbewehrte Betonwände und Stahlbetonwände werden nach [4] unterteilt in zweiseitig, dreiseitig und vierseitig gehaltene Wände, für die verschiedene Bestimmungen hinsichtlich der aussteifenden Querwände gelten. Die Wanddicke muß mindestens 15 cm betragen, sie darf bei drei- oder vierseitig gehaltenen Innenwänden bis auf 10 cm vermindert werden, wenn die Geschoßhöhe $h_g \leq 3$ m ist und die Decke über der Wand biegesteif durchläuft^{*)}. Bei unbewehrten Betonwänden mit ausmittiger Beanspruchung gelten die zulässigen Kantenspannungen nach DIN 1047, Tafel 1, wobei die Knickzahlen ω der Tafel 1 nach [4] zu berücksichtigen sind. Stahlbetonwände sind nach DIN 1045 § 27 auszubilden

^{*)} Nach Bild 1 und Abschnitt 2 dieses Berichtes sind Brandwände aus Stahlbeton mit 14 cm Mindestdicke unter besonderen Bedingungen erlaubt. Nach den angeführten Vorschriften [4] muß eine Stahlbeton-Brandwand mit 14 cm Dicke also mindestens dreiseitig gelagert werden, wobei der Abstand aussteifender Querwände nach [4] noch zu berücksichtigen ist (vergl. auch Bild 5).











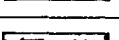



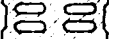

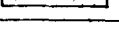





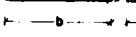
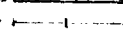
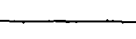
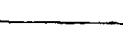
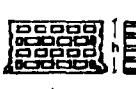
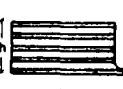
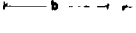
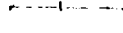
Versuch Nr.	Baustoffart (Maße in cm)	Kenngrößen vor den Brandversuchen nach den einschlägigen Normen:					Druckfestigkeit nach den Brandversuchen:		Alter der Prüf- wände beim Brand- versuch 1. Tagen			
		i	b	h	Roh- dichte	Druck- festigk.	Kennzeichnung nach Norm	max. Mittel min. kp/cm ²		in % bezog. auf d.mittel. Ausgangsfestigkeit vor d.Brand- versuchen		
		max. Mittel min.	max. Mittel min.	max. Mittel min.	max. Mittel min.	max. Mittel min.						
		mm	mm	mm	kg/dm ³	kp/cm ²						
1-3	Kalksand- Lochsteine KSL			240	114	113	1,50	214	KSL 1,6/150 2 DF DIN 106	190 175 155	93	1 : 276 2 : 302 3 : 113
				240	113	112	1,47	188				
				240	112	111	1,44	161				
4-6	Hochloch- ziegel HLz			245	120	111	1,31	251	HLz A 1,4/150 1 1/2 NF DIN 105	249 197 161	90	4 : 289 5 : 294 6 : 119
				242	119	110	1,28	218				
				240	118	110	1,25	202				
7	Schlacken- Hohlblock- steine HBl			490	240	243	1,25	85	Zwk 50/~ 1,2 240x490x238 DIN 18 151	75 65 58	96	205
				490	240	241	1,24	68				
				490	238	239	1,24	46				
22 bis 25 % brennbare Bestandteile												
8	unbewehrter Beton		Zement: Portland-Zement Z 275 (N ₂₈ = 456 kp/cm ² nach DIN 1164); Z-Gehalt ²⁸ = 226 kg/m ³ W/Z: 0,93 Zuschlagstoff: Betonkies sand Braunschweig 0/30 W ₂₈ = 120 kp/cm ² ; W ₁₇₃ = 267 kp/cm ² nach DIN 1048					-	-	274		
9	Stahl- beton- wand		Zement: wie bei Versuch 8; Z-Gehalt = 300 kg/m ³ W/Z: 0,65 Zuschlagstoff: wie bei Versuch 8 W ₂₈ : 390 kp/cm ² ; Feuchtigkeitsgehalt = 2,41 Gew.-% Stahl: St III Ø 8 u. Ø 6, Betondeckung = ü = 1,5 cm					-	-	251		
10-11	Ziegel Dzv 16,5			260	250	168	0,90	319	Dzv 0,9/~ 225 250x250x165 DIN 4159 Beton: B 160	320 248 230	100	10 : 111 11 : 135
				252	245	163	0,87	248				
				247	241	161	0,83	162				
Zement: wie Versuch 8; Z-Gehalt = 293 kg/m ³ W/Z: 0,75 Zuschlag: Betonsand Braunschwg. 0/7 Stahlüberdeckung: ü _{Ziegel} + ü _{Beton} = 1,5 + 1,0 = 2,5 cm												
12	Ziegel Dzv 11,5			243	246	115	0,62	168	Dzv 0,6/~ 160 250x250x11,5 DIN 4159 Beton: B 160	wurde nicht ge- prüft, da Ver- suchswand beim Stoßversuch aus- knickte.		108
				240	245	112	0,60	147				
				236	243	109	0,59	126				
Betondaten wie bei Versuch 10 u. 11												

Bild 4: Kenn- und Normgrößen der Baustoffe der untersuchten Wände

und mit den dort angegebenen ω -Werten der Tafel IV zu bemessen. Für die Knicklänge bewehrter und unbewehrter Betonwände gilt [4]. Beton- und Stahlbetonwände, die dünner sind als 15 cm, dürfen nicht nach den für die Betongüte B 300 zugelassenen oder mit höheren Spannungen bemessen werden (vergl. auch Bild 5).

3. Zieglmontagewände nach [6]

Die in Abschnitt 3.2 und 4 dieses Berichtes beschriebenen Zieglmontagewände können nach [6] ähnlich wie Betonwände zweiseitig, dreiseitig oder auch vierseitig gelagert werden, wobei hinsichtlich der Aussteifungen bestimmte Richtlinien berücksichtigt werden sollten. Wandelemente mit Ziegeln nach DIN 4159 werden als Vergußtafeln bezeichnet. Gelangen hierbei Ziegel für vollvermörtel-

bare Stoßfugen – wie in Bild 4 beschrieben – zur Anwendung, so tragen sie die Bezeichnung Hochlochtafeln. Die Mindestdicke tragender Hochlochtafeln beträgt wie bei den Versuchswänden 10 und 11 16,5 cm. Sind tragende Wände drei- oder vierseitig gelagert, so darf die Wanddicke bei Hochlochtafeln auf 11,5 cm abgemindert werden (vergl. Versuch Nr. 12). Die größten Druckspannungen (Kantenpressungen) dürfen die Werte der Tafel 3.3 nach [6] nicht überschreiten. Die Knicksicherheit ist ebenfalls nach [6] nachzuweisen.

5.2 Lagerung der Versuchswände

Um den in der Praxis vorhandenen ungünstigsten Lagerungsfall zu erfassen, wurden alle Wände einheitlich als zweiseitig gelagerte Wände untersucht; d.h. die oberen

Versuch-Nr.	Wandart	Schlankheitsgrad $\lambda = \frac{h}{d}$	Lagerung		Belastung		
			nach Vorschrift im ungünstigsten Fall	im Versuch	max. Randspannungen nach Vorschrift	im Versuch auf der dem Feuer zugekehrten Seite	
1	KSL	8,85	nach [3] zweiseitig	zweiseitig	nach [3] Tafel 5 max. $\sigma_R = 12$	12	0
2		11,3			nach [3] Tafel 6 max. $\sigma_R = 9$	0	12
3						0	12
4	HLz	8,85	nach [3] zweiseitig	zweiseitig	nach [3] Tafel 5 max. $\sigma_R = 12$	12	0
5		11,3			nach [3] Tafel 6 max. $\sigma_R = 9$	0	12
6						0	12
7	Hbl	8,85	nach [3] zweiseitig	zweiseitig	nach [3] Tafel 5 max. $\sigma_R = 7$	7	0
8	Beton B 160	15,2	nach [4] dreiseitig	zweiseitig	nach [4] u. DIN 1047 Tafel 1 max. $\sigma_R = 40$	0	40
9	Stb B 300	18,9	nach [4] dreiseitig	zweiseitig	nach [4] u. DIN 1045 § 27 max. $\sigma_R = 90$ *)	0	90
10	Ziegelmontagewand 16,5	12,9	nach [6] zweiseitig	zweiseitig	nach [6] Tafel 3.3 max. $\sigma_R = 30$	Ziegel-seite 0	Beton-seite 30
11		10,1				Beton-seite 0	Ziegel-seite 30
12	Ziegelmontagewand 11,5	19,5	nach [6] dreiseitig	zweiseitig	nach [6] Tafel 3.3 max. $\sigma_R = 22$	Ziegel-seite 0	22

*) Für B 300 nach DIN 1045 ist $\sigma_{zul} = 110 \text{ kp/cm}^2$; nach [4] - vergl. Abschnitt 5.1.2 - muß σ jedoch kleiner gewählt werden. Es wurde σ für B 225 nach DIN 1045 mit $\sigma = 90 \text{ kp/cm}^2$ gewählt.

Bild 5: Zusammenstellung der Lagerungs- und Belastungskennwerte.

und unteren Ränder der Versuchswände waren entsprechend der Praxis gegen Ausweichen gesichert – der obere Rand durch Reibung infolge Belastung durch hydraulische Pressen und der untere Rand durch Reibung infolge derselben Belastung zuzüglich des Eigengewichtes. Die seitlichen Ränder konnten sich senkrecht zur Wandebene frei verformen. Den seitlichen Wandabschluß bildeten jeweils 10 mm dicke Sillanstreifen und dahinterliegende steife Stahlbetonschenkel von U-förmigen Stahlbetonrahmen, die aus prüftechnischen Gründen notwendig sind und die gleichzeitig z.B. eine Stütze in der Praxis simulieren, an die eine Brandwand anschließt. Die Sillanstreifen lassen sich etwa bis auf 3 mm Dicke zusammendrücken, so daß die Versuchswände eine behinderungsfreie Dehnung von etwa 14 mm bei 2,00 m Wandbreite erfahren konnten.

Alle Wände wurden im übrigen deshalb einheitlich als zweiseitig gelagerte Wände untersucht, um gute Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten; dabei war bekannt, daß die Versuchswände 8, 9 und 12 etwas ungünstiger beansprucht wurden, als nach den z.Z. gültigen Bestimmungen und Richtlinien erlaubt ist.

Die nach den Bestimmungen erforderlichen und die in den Versuchen gewählten Lagerungsbedingungen sind in Bild 5 noch einmal gegenübergestellt.

5.3 Belastung der Versuchswände

Die Versuchswände sollten einer exzentrischen Belastung standhalten – vergl. Abschnitt 2 dieses Berichtes. Die in der Praxis vorkommenden möglichen exzentrischen Be-

lastungsfälle sind in den Bildern 6 und 7 schematisch dargestellt. Sie stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Richtung, aus der die Brandbelastung erfolgt. Es werden unterschieden:

Fall 1: Die Belastung ist in der Weise exzentrisch, daß auf der Feuerseite Druckspannungen und auf der dem Feuer abgekehrten Seite geringere Druckspannungen, $\sigma = 0$, oder sogar Zugspannungen herrschen.

Fall 2: Die Belastung ist in der Weise exzentrisch, daß auf der dem Feuer abgekehrten Seite Druckspannungen und auf der Feuerseite geringere Druckspannungen, $\sigma = 0$, oder sogar Zugspannungen herrschen.

Beide Fälle sind von Bedeutung; sie müssen im Zusammenhang mit den Verformungen infolge Brandbelastung (s. Abschn. 5.4) und Stoßbeanspruchung (s. Abschn. 5.5) gesehen werden. Die verschiedenen Verformungsbilder sind ebenfalls aus Bild 7 ersichtlich.

Aufgrund der Unterschiede ergibt sich die Frage, welcher Belastungsfall für die zu untersuchenden Wände der ungünstigere ist – Fall 1 oder Fall 2?

Bei der Beantwortung dieser Frage sind nicht nur die erwähnten Verformungen maßgebend. Eine Rolle spielen auch der verwendete Baustoff und seine feuertechnischen Eigenschaften sowie die Konstruktionsart der Wände. Verwendeter Baustoff und Konstruktionsart beeinflussen selbst das Verformungsverhalten unter Feuerbeanspruchung. Das folgende Beispiel soll dies veranschaulichen:

„Wände, die unter Feuerbeanspruchung auf der Feuerseite in stärkerem Maße zermürbt werden – z.B. Gas-

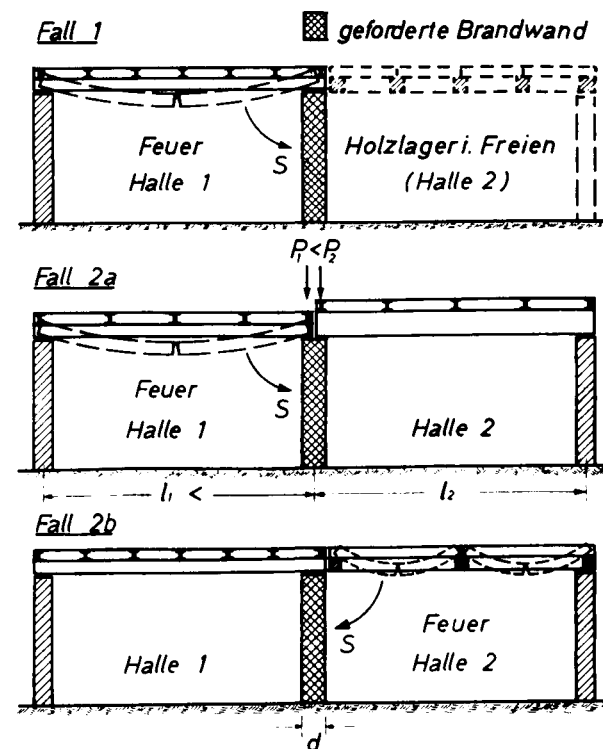
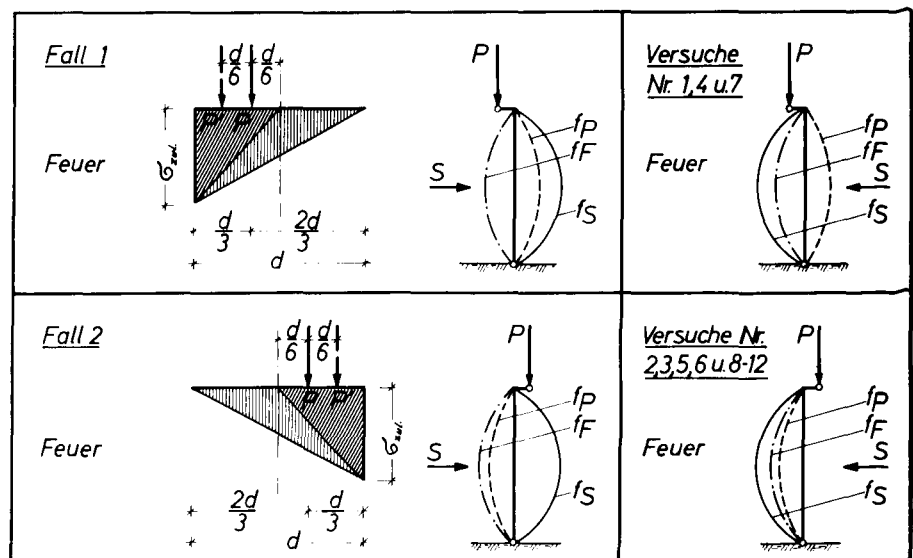


Bild 6: Mögliche Brand- und Belastungsfälle

Bild 7: Mögliche und untersuchte Brand- und Belastungsfälle

P = Belastung
F = Feuer
S = Stoß
f = Verformung



und Schaumbetonwände oder z.T. auch Bimsbetonwände, ferner Gipswände usw., erfahren mit zunehmender Zermürbung eine exzentrische Belastung. Die Wandmittelebene des noch tragenden Querschnittes wandert durch die Zermürbung ständig vom Feuer weg, so daß die in der Lage konstant gebliebene Last immer weiter an den Rand der Feuerseite des noch tragenden Querschnittes kommt. Derartige Wände wolben sich dabei vom Feuer weg. Auf der dem Feuer abgekehrten Seite können bereits erhebliche Zugspannungen auftreten. Überschreitet die Spannung aus Normalkraft und Biegemoment auf der Feuerseite die Druck-Bruchspannung der Wand, so ist der Einsturz die Folge."

Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen wurden die Versuchswände daher wie folgt belastet:

Fall 1: Brandwand Nr. 7 aus Hbl 50/1.2 wurde nach Fall 1 belastet, weil vermutet wurde, daß die Feuerseite der Wand bei Brandbeanspruchung in stärkerem Maße zermürt wird – diese Vermutung wurde durch den Versuch jedoch nicht bestätigt, vergl. Abschn. 6.3 und 6.5. Aus grundsätzlichen Überlegungen wurden ferner die Versuchswände Nr. 1 und 4 – das ist je eine Wand aus KSL und HLZ – nach Fall 1 belastet.

Fall 2: Da bei allen übrigen Wänden mit keiner wesentlichen Zermürbung bei Brandbeanspruchung auf der Feuerseite zu rechnen war, wurden diese nach Fall 2 belastet. Es wurde vermutet, daß diese Beanspruchung die ungünstigste ist, weil sämtliche Verformungen aus Belastung, Feuerbeanspruchung und Stoßbeanspruchung – gleichgerichtet sind, vergl. auch Bild 7.

Die Druck-Randspannungen wurden entsprechend den einschlägigen Vorschriften zu $\sigma_R = \sigma_{zul}$ gewählt. Sie sind in Bild 5 entsprechend den einzelnen Versuchen noch

einmal zusammenfassend wiedergegeben. Bei den Versuchen Nr. 3 und 6 wäre nach den Vorschriften der Tafel 6 nach [3] eine Herabsetzung der Spannung in Abhängigkeit von der Schlankheit erforderlich gewesen. Da diese Abminderung aber nur geringfügig gewesen wäre, wurde sie vernachlässigt. Auf diese Weise besaßen alle KSL- und HLZ-Wände (Versuche 1 – 6) gleiche Ausgangsbedingungen, so daß Vergleiche in den Prüfergebnissen möglich waren.

Die Zug-Randspannungen wurden zu $\sigma_R = 0$ gewählt. Die Exzentrizität betrug damit bei allen Wänden $e = d/6$ entsprechend der Laststellung P am Rande des Kernquerschnittes, vergl. Bild 7. Diese Laststellung P wurde der Laststellung P' vorgezogen, da bei gleicher Druck-Randspannung $P' = 2 P/3$ beträgt, P' also erheblich kleiner ist als P , weshalb auch die Momente infolge Belastung und Feuerbeanspruchung $M_{P'} = P' \cdot f_F$ kleiner sind als im Lastfall P mit $M_P = P \cdot f_F$, vergl. Bild 7.

Die gewählte Belastung – mit Unterscheidung in Lastfall 1 und 2 – stellt damit in Laststellung P bei den nach Bild 5 angegebenen Druck-Randspannungen die ungünstigste Belastung der Versuchswände dar. Dies gilt allgemein zunächst für alle symmetrischen Versuchswände.

Bei den Ziegelmontagewänden Nr. 10 – 12 lag asymmetrischer Aufbau vor. Es ergeben sich grundsätzlich daher die in Bild 8 wiedergegebenen Prüfmöglichkeiten Fall 1.1/1.2 und Fall 2.1/2.2. Bei den 16,5 cm dicken Ziegelmontagewänden wurden zum Studium des Verhaltens unter den verschiedenen Beanspruchungen und entsprechend DIN 4102 Blatt 2, Ausgabe 1965, Abschnitt 5.2.2 beide Fälle – Fall 2.1/Feuer-Ziegelseite und Fall 2.2/Feuer-Betonseite – untersucht. Bei Versuch Nr. 12 wurde nur Fall 2.1 geprüft. Die Belastungskennwerte sind aus Bild 5 ersichtlich.

Damit waren nach Ansicht des prüfenden Instituts und der Arbeitsgruppe die ungünstigsten Belastungsfälle gewählt worden – vergl. Bild 5 und 7.

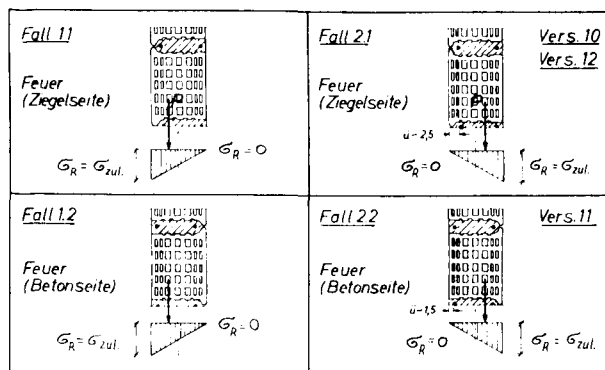


Bild 8: Mögliche und untersuchte Brand- und Belastungsfälle bei Ziegelmontagewänden

5.4 Feuerbeanspruchung der Versuchswände

Alle Versuchswände wurden einheitlich nach DIN 4102 Bl. 2 Ausgabe 1965 mit der dort angegebenen Einheits-temperaturkurve unter den vorgeschriebenen meßtechnischen Angaben geprüft. Die Temperaturmessung im Brandraum erfolgte mit 6 NiCr-Ni-Thermoelementen, auf der dem Feuer abgekehrten Seite mit 5 Fe-Konst-Thermoelementen. Es wurde Heizöl EL nach DIN 51 603 verwendet.

Bei Versuch Nr. 9 (Stahlbetonwand) wurden die Temperaturen im Wandquerschnitt zusätzlich ermittelt.

5.5 Stoßbeanspruchung der Versuchswände

5.1.1 Allgemeines

Wie in Abschnitt 2 dieses Berichtes schon erwähnt, sollten alle Wände einer Stoßbeanspruchung widerstehen. Die

Art und Größe der Stoßbeanspruchung sollte unter Beachtung der möglichen Belastungen (vergl. Abschn. 5.3) so festgelegt werden, daß die raumabschließende Wirkung der üblichen Brandwände nach einem 90-Minuten-Brandversuch im Sinne von DIN 4102 gerade noch voll wirksam ist. Für die Ermittlung dieser Grenzbeanspruchung sollten die möglicherweise bestehenden ausländischen Versuchserfahrungen mit berücksichtigt werden.

Als die Bearbeitung des Forschungsauftrages begonnen wurde, waren im wesentlichen die in Bild 9 wiedergegebenen Prüfverfahren nach [7 – 11] bekannt. Wie aus diesem Bild ersichtlich ist, sind die stoßenden Körper bis zu 50 kg schwer; die Energie der stoßenden Körper beträgt maximal 100 kp m; die Körper bestehen selbst aus Stahlkugeln, Sandsäcken oder Bleischrotbällen; der Stoß wird als Pendelstoß oder durch freien Fall ausgeübt. Die in- und ausländischen Versuchserfahrungen, die mit den Prüfverfahren [7 – 11] gewonnen wurden, sowie die Prüfverfahren selbst, zeigen daß

1. es nicht möglich ist, die Widerstandsfähigkeit der infrage stehenden Brandwände gegen Stoßbeanspruchung nach den Brandversuchen im voraus allgemein abzuschätzen, weil bisher noch keine Brandwände oder ähnliche Wände mit oder ohne vorangegangenen Brandversuch unter Stoßbeanspruchung untersucht wurden;
2. es nicht möglich ist, Gewicht, Fallhöhe und Impuls der Grenz-Stoßbeanspruchung im voraus festzulegen, die zum Einsturz der Brandwände führt;

Bild 9: Stoßbeanspruchungen nach verschiedenen in- und ausländischen Vorschriften

Lit.	Land	Bauteil oder Sonderbauteil, Zeitpunkt der Prüfung	Art	Stoßbeanspruchung			
				Gewicht kg	Energie kp m	Anzahl der Stöße (Ort)	Bauteillagerung
[7]	Deutschland	Schornsteinreinigungsverschlüsse, zwischen zwei Dichtigkeitsprüfungen	Kugelschlag (Pendel)	~ 15	0,35	1 (Mitte)	vierseitig
[8]		Wände, nach der Brandbeanspruchung nach DIN 4102	Kugelschlag (Pendel)	15 bis 20	2	3 (an verschiedenen Stellen)	zwei- oder vierseitig
[9]		Abschlüsse von Schutzräumen, zwischen zwei Dichtigkeitsprüfungen	Kugelschlag (Pendel)	15	3	5 (an verschiedenen Stellen)	vierseitig
[10]	USA	Decken, Dächer	Sandsack (freier Fall)	27	verschiedene Fall- bzw. Pendelhöhen; Durchbiegungen werden in Abhängigkeit von der Fallhöhe aufgetragen und beurteilt		zweiseitig
		Wände	Sandsack (Pendel)				
[11]	Frankreich	Wände ¹⁾ : äußere und innere Verkleidungen, Ausfachungen im Skelett, stockwerkshohe Tafeln	Kugelschlag (freier Fall)	0,5 1	0,375 1	1 (Mitte)	entsprechend der Praxis oder in einem Prüfraum (vierseitig)
			Sand- oder Bleischrotball (freier Fall)	3	3 6		
			Sandsack (Pendel)	50	60 75 100		

1) Die Prüfbedingungen sind hier vereinfacht wiedergegeben. In den französischen Vorschriften wird außerdem nach tragenden Teilen, Verkleidungen, in welchem Geschoß die Wandteile verwendet werden und ob sie von außen oder von innen beansprucht werden, unterschieden.

3. es nur möglich ist, eine nach [7--11] erprobte Stoßbeanspruchung nachzuahmen, um mit dieser die gesuchte Grenz-Stoßbeanspruchung zu ermitteln.

Es wurden ferner theoretische Überlegungen angestellt, um mit den physikalischen Grundgesetzen nach [12] die Grenz-Stoßbeanspruchung zu ermitteln. Bezeichnet man mit m_1 und m_2 die Massen von stoßendem Körper und gestoßenem Körper (Brandwand) und mit v_1, v_2 sowie v_1', v_2' die Geschwindigkeiten beider Körper vor bzw. nach dem Stoß und mit ΔW den (Carnotschen) Energieverlust beim Stoß, dann folgt aus dem Energiesatz für mechanische Energien

$$\sum_i E_i + \Delta W = \text{const.}$$

sowie aus dem Impulssatz für mechanische Impulse

$$\sum_i m_i \cdot v_i = \text{const.}$$

die Berechnung der Geschwindigkeiten und des Energieverlustes zu

$$v_1' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - k m_2 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + k m_1 (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}$$

$$\begin{aligned} \Delta W &= \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{m_1 v_1'^2}{2} - \frac{m_2 v_2'^2}{2} \\ &= \frac{m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2 \cdot (1 - k^2)}{2 (m_1 + m_2)} \end{aligned}$$

mit k als Stoßparameter zu

$$k = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2}$$

wobei k von der Relativgeschwindigkeit beider Körper beim Stoß abhängt.

Die Lösungen dieser Gleichungen sind einfach und eindeutig für

1. $k = 1$, (dann wird $\Delta W = 0$),
für den elastischen Stoß und für
2. $k = 0$, (dann wird $v_1' = v_2'$),
für den unelastischen Stoß.

Der Stoß bei den zu untersuchenden Wänden ist aber weder voll-elastisch noch voll-unelastisch und k ist hierfür nicht bekannt. Hinzu kommt, daß auch die gestoßenen Körper, nämlich die Versuchswände, die am Brandhaus gelagert sind, nicht eindeutig definiert werden können, da das Brandhaus selbst beim Stoß etwas schwingt und sich teilweise auch verformt, vergl. Versuchsanordnung Bild 13 und 14. Von welchen Einflußgrößen der Stoßparameter k bezüglich der gestoßenen Wände noch

abhängt, veranschaulicht Bild 10. Daraus ist ersichtlich, daß es – selbst bei einem definierten stoßenden Körper – unmöglich ist, die Grenz-Stoßbeanspruchungen im voraus rechnerisch zu ermitteln, die notwendig sind, um die Brandwände nach vorangegangener Feuerbeanspruchung zum Einsturz zu bringen. Die Schwierigkeiten nehmen zu, wenn man bedenkt, daß alle üblichen Brandwände – vergl. Bild 1 – hinsichtlich Oberflächenstruktur, Festigkeit, E-Modul und Raumgewicht – vergl. Einflußgröße zum elastischen Verhalten des Baustoffes in Bild 10 – sehr unterschiedlich sind und auch wesentliche Unterschiede in der Gesamtkonstruktion der Brandwände bestehen.

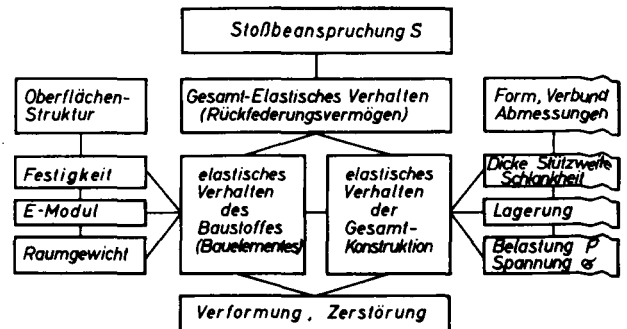


Bild 10: Stoßbeanspruchung bei Brandwänden – Einflußgrößen

Allgemein kann lediglich folgendes gesagt werden: Je elastischer sich eine Wand verhält, desto weniger nicht reversible Energie der Stoßbeanspruchung wird von ihr aufgenommen. Die nicht reversible Stoßenergie führt immer zu einer bleibenden Verformung oder sogar zu einer örtlichen oder allgemeinen Zerstörung. Die Größenordnung der bleibenden Verformung oder Zerstörung hängt von den beschriebenen Einflüssen ab.

Weitere Untersuchungen über die Stoßbeanspruchung durch Sackpendel sind in Teil III, „Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von Stoßbeanspruchungen durch Sackpendel“ von Dr.-Ing. J. Steinert beschrieben.

5.5.2 Stoßbeanspruchung in der Praxis

Die Tatsache, daß eine hinreichend genaue Vorausberechnung der Widerstandsfähigkeit der infrage stehenden Versuchswände gegen Stoßbeanspruchung nicht möglich war, führte zu der folgenden Betrachtung:

Die möglichen Brand- und Belastungsfälle gehen aus den Bildern 6 und 7 hervor. Daraus ist ersichtlich, daß der Stoß – abgesehen von ein paar Ausnahmen – in der Regel durch einstürzende Bauteile, z.B. durch einstürzende Dachpfetten, aus der Richtung der Feuerbeanspruchung erfolgt, vergl. Bild 6. Betrachtet man eine Halle oder einen Raum mit einer Brandwand aus Mauerwerk als Raumabschluß, so ist bei einer 24 cm dicken Wand (Mindest-Brandwanddicke) und bei einem Mittenabstand aussteifender Querwände oder Pfeiler von $\leq 8,00$ m nach [3] eine Geschoßhöhe von 3,50 m erlaubt, vergl.

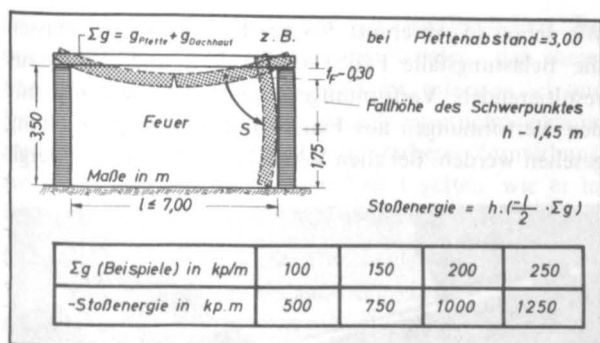


Bild 11: Größenordnung der Stoßbeanspruchung in der Praxis

auch Abschnitt 5.1 dieses Berichtes. Es herrschen dann bei Brandbeanspruchungen z.B. die in Bild 11 wiedergegebenen Verhältnisse.

Das dort angeführte Rechenbeispiel zeigt ein Pfettendach mit Stahlbeton- oder Spannbetonpfetten mit etwa 3 m Pfettenabstand. Als Dachhaut wurden verwendet: Asbestzement-Welltafeln oder Pappdeckung auf Stahlbetonhohldielen nach DIN 4028 oder auf Dachplatten aus Gas- u. Schaumbeton nach DIN 4223 oder auf Stahlbetonplatten (Fertigteile). Es ergeben sich dann nach DIN 1055 Berechnungsgewichte (Σg) von etwa 100 bis 250 kp/m pro Pfette. Daraus resultieren rechnerisch bei einer theoretischen Fallhöhe des Schwerpunktes von etwa 1,45 m maximale Stoßenergien von 500 bis 1250 kp m. Der Stoß trifft die Brandwand im ungünstigsten Fall in Wandmitte. Bei gleichzeitigem Einsturz mehrerer Pfetten ist die Beanspruchung pro m Brandwandbreite entsprechend größer. Bei nicht gleichzeitigem Einsturz können mehrere ähnlich große Stöße nacheinander auftreten. Bedenkt man, daß ein Teil der Dachplatten beim Einsturz von den Pfetten abrutscht, so tritt ein abgeminderter Stoß auf. Die Abminderung kann so groß sein, daß die infrage stehende Brandwand nur noch mit Stoßenergien von etwa 250 bis 625 kp m je nach Gewicht der Dachplatten beansprucht wird. Im Fall eingeschossiger Räume oder im Fall des Dachgeschosses werden die Brandwände zum Zeitpunkt des Dacheinsturzes nur noch durch ihr Eigengewicht belastet. Handelt es sich um kein Dachgeschoß, sondern um irgendeine Zwischenetage, so können die Brandwände unter ihrer vollen, zulässigen Belastung stehen, wie sie für den ungünstigsten Fall in Abschnitt 5.3 dieses Berichtes beschrieben wurde.

Ähnliche Einsturzverhältnisse können bei Massivdecken – z.B. bei (monolitischen) Stahlbetondecken – vorliegen, wobei zu unterscheiden ist, ob die Dach- oder Deckenkonstruktion zwei- oder vierseitig gelagert ist. Bei zwei-seitiger Lagerung sind die Verhältnisse ähnlich wie beim Pfettendach; bei vierseitiger Lagerung sind sie günstiger. Hier können größere Stoßabminderungen auftreten, weil sich derartige Decken unter Feuerbeanspruchung wesentlich günstiger verhalten und meistens nicht in vollem Umfang einstürzen, vergl. Bild 12. Die Stoßbeanspruchung kann in derartigen Fällen etwa zwischen 100 und 500 kp m liegen.

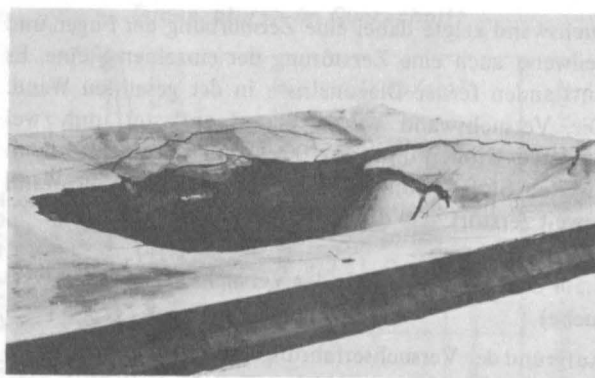


Bild 12: Im Brandversuch eingestürzte vierseitig frei aufgelagerte kreuzweise bewehrte Stahlbetonplatte

Alle vorstehenden Angaben einschließlich des Rechenbeispiels in Bild 11 zeigen nur die Größenordnung und die Möglichkeiten. Da es sehr viele unterschiedliche Konstruktionen gibt und das Verhalten von Decken und Dächern im tatsächlichen Brandfall sehr unterschiedlich sein und von vielen Einzelheiten des Brandablaufes abhängen kann, können keine genaueren Angaben gemacht werden.

5.5.3 Vorversuche

Da die Vorausberechnung der Widerstandsfähigkeit der infrage stehenden Brandwände gegen Stoßbeanspruchung nicht möglich war – vergl. Abschnitt 5.5.1 – und da die Stoßbeanspruchung in der Praxis bei einem tatsächlichen Brand alle Möglichkeiten einer Stoßenergie zwischen etwa 100 kp m und 1250 kp m (oder mehr) offenläßt – vergl. Abschnitt 5.5.2 – und weil überhaupt keine Anhaltswerte bekannt waren, wurden Vorversuche zur Erprobung der Beanspruchung durchgeführt.

Es wurde eine Wand aus KSL errichtet, die in ihren Abmessungen und in ihrem Baustoff dem Hauptversuch 1 entsprach, vergl. Bild 2 und 4. Diese Wand wurde in Wandmitte einem Pendelstoß ähnlich [11] ausgesetzt. Es wurden verschiedene Sandsackpendel mit Gewichten von 50 bis 100 kg bei Fallhöhen bis zu 2,00 m verwendet (stoßende max. Energie = 200 kp m). Die unter Belastung stehende Wand zeigte bei mehrmaligem Schlag keine wesentlichen Veränderungen.

Daraufhin wurde ein neues Pendel mit einem doppelten Spezialsack aus Hopfentuch – Qualität HT 1800, Größe 65 x 120 cm aus 130 cm Stoff (125 cm Schnitt) mit 2-facher Patentmaschinennaht der Braunschweigischen Aktiengesellschaft für Jute- und Flachs-Industrie – konstruiert. Die Füllung des Doppelsackes bestand aus Bleischrot – Durchmesser der Schrotkugeln 2 – 3 mm –, das in Leinensäcken mit je 10 kp abgefüllt war. Das Gesamtgewicht des Pendels einschließlich Doppelsack, Halterung und Blei betrug 200 kp. Dieselbe Versuchswand, die in belastetem Zustand schon mehreren Stößen bis zu max. 200 kp m standgehalten hatte, wurde nunmehr in der gleichen Weise mit mehreren Stößen bis zu 400 kp m (Fallhöhe = 2,00 m) beansprucht. Die Ver-

suchswand zeigte dabei eine Zermürbung der Fugen und teilweise auch eine Zerstörung der einzelnen Steine. Es entstanden ferner Diagonalrisse in der gesamten Wand. Die Versuchswand wurde darauf entlastet und zwei weiteren Stößen mit je 400 kp m ausgesetzt. Beim zweiten Stoß im unbelasteten Zustand wurde die Wand soweit zerstört, daß der Raumabschluß verloren ging.

5.5.4 Stoßbeanspruchung der Versuchswände (Hauptversuche)

Aufgrund der Versuchserfahrungen bei den Vorversuchen wurde für alle Hauptversuche (Teil I) einheitlich eine Stoßenergie von 400 kp m gewählt, die mit Hilfe eines bleischrotgefüllten Sackpendels erzeugt wurde. Die Wahl des Bleischrot-Sackpendels wurde aufgrund der ausländischen Vorbilder beibehalten. Es kann angenommen werden, daß im Brandfall zermürbte, einstürzende Bauteile keinen exakten Stoß ausüben, wie er z.B. bei einer stoßenden Stahlkugel auftritt. Es werden vielmehr unregelmäßige Stöße mit Eigenverformungen wie beim Sackpendel abgegeben. Auch diese Überlegungen sprachen für die Beibehaltung des Sackpendels.

Jede Versuchswand wurde vier Stößen nacheinander in Wandmitte ausgesetzt. Die Stöße 1 und 2 erfolgten unter der in Abschnitt 5.3 beschriebenen exzentrischen Belastung, die Stöße 3 und 4 erfolgten im entlasteten Zustand der Wände (Belastung nur durch Eigengewicht). Da es aus versuchstechnischen Gründen nicht möglich war, die Stöße von der Feuerseite, also vom Brandhausinneren, auszuführen, wurde stets von der dem Feuer abgekehrten Seite gestoßen. Ein Vergleich zwischen der in der Praxis in der Regel vorkommenden Richtung der Stoßbeanspruchung und der Richtung der Stöße bei den Versuchen ist aus Bild 7 ersichtlich.

Wie schon in Abschnitt 5.3 beschrieben wurde, müssen die Belastungsfälle Fall 1 und Fall 2 und die daraus resultierenden Verformungen im Zusammenhang mit den Verformungen aus Feuer- und Stoßbeanspruchung gesehen werden. Bei allen Versuchen nach Fall 2 – vergl.

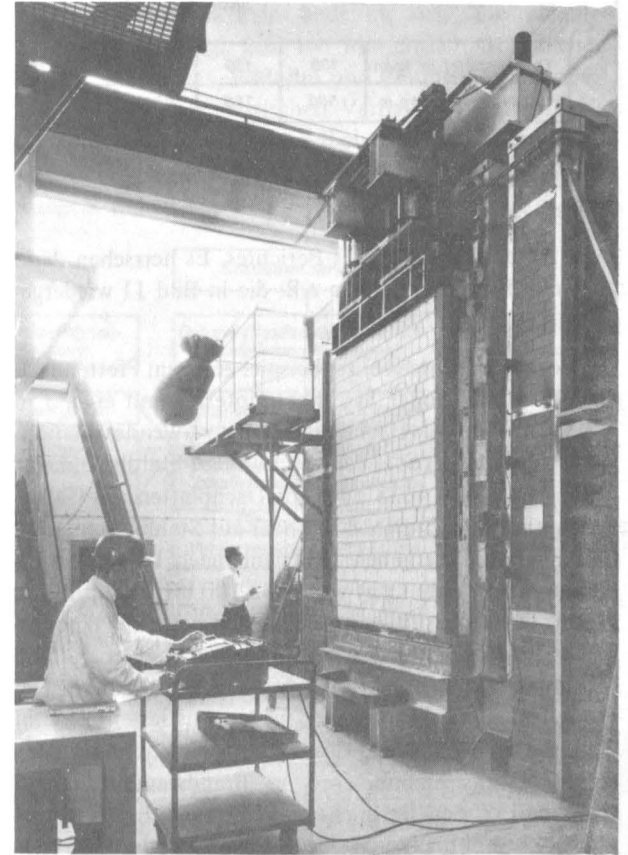


Bild 14: Versuchsaufbau der Brandwände mit Sackpendel

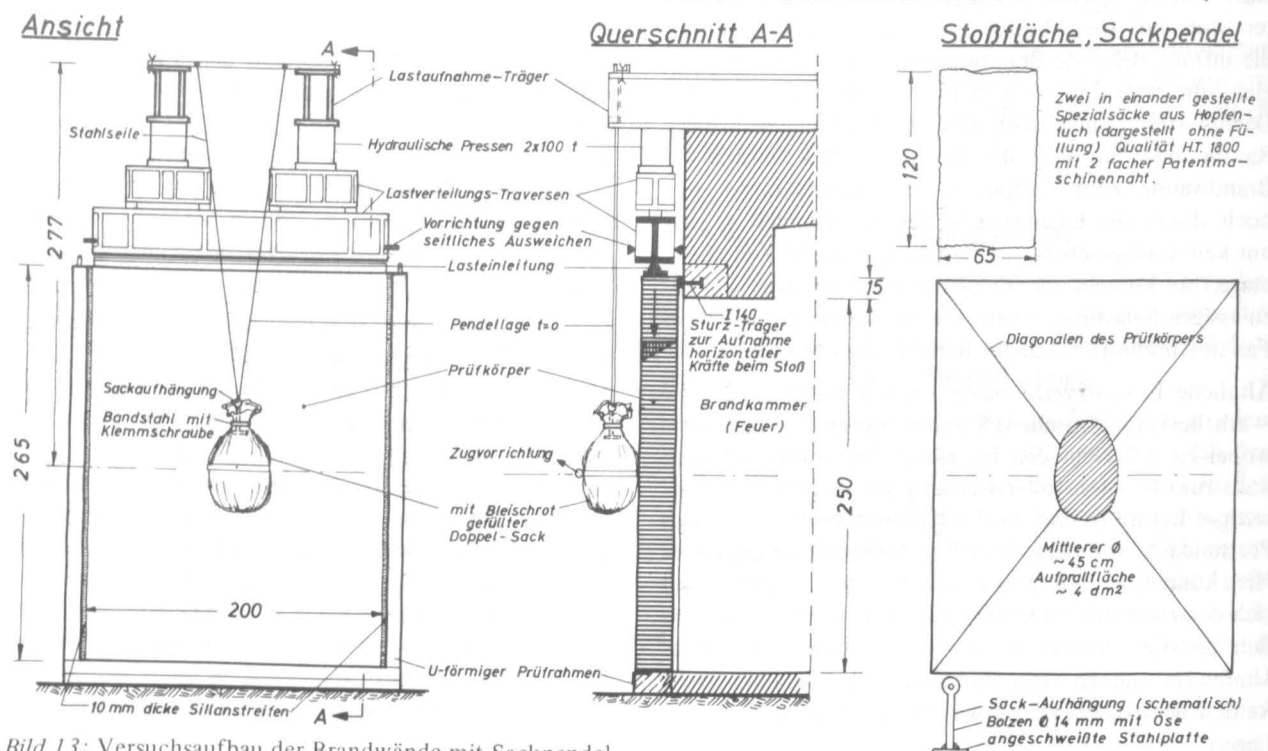


Bild 13: Versuchsaufbau der Brandwände mit Sackpendel

Bild 7 – waren alle Verformungen gleichgerichtet. Es kann mit Sicherheit angenommen werden, daß diese Beanspruchungsart die ungünstigste ist, sofern es sich um Wände handelt, die durch die Feuerbeanspruchung kaum zermürbt werden. Für Wände mit stärkerer Zermürbung auf der Feuerseite kann auch Fall 1 gelten, wie er in Bild 7 und Abschnitt 5.3 schon beschrieben wurde.

Der gesamte Versuchsaufbau ist in den Bildern 13 und 14 wiedergegeben, woraus auch Einzelheiten zum Sackpendel ersichtlich sind; siehe auch Teil II und III.

6. Versuchsergebnisse

6.1 Temperaturmessungen

Die gemessenen Brandraumtemperaturen entsprachen der Einheitstemperaturkurve DIN 4102 Blatt 2, Ausgabe 1965.

Die an den Meßstellen Nr. 1 – 5 (vergl. Bild 2 – 3) an der dem Feuer abgekehrten Seite der Versuchswände ermittelten Temperaturerhöhungen gegenüber der Ausgangstemperatur sind in der folgenden Tafel 1 wiedergegeben. Daraus ist ersichtlich, daß alle Temperaturerhöhungen weit unter den zulässigen Temperaturerhöhungen nach DIN 4102 von 140/180 grd liegen.

Die bei Versuch Nr. 9 (Stahlbetonwand) zusätzlich ermittelten Temperaturen im Wandquerschnitt sind in den Bildern 15 und 16 wiedergegeben.

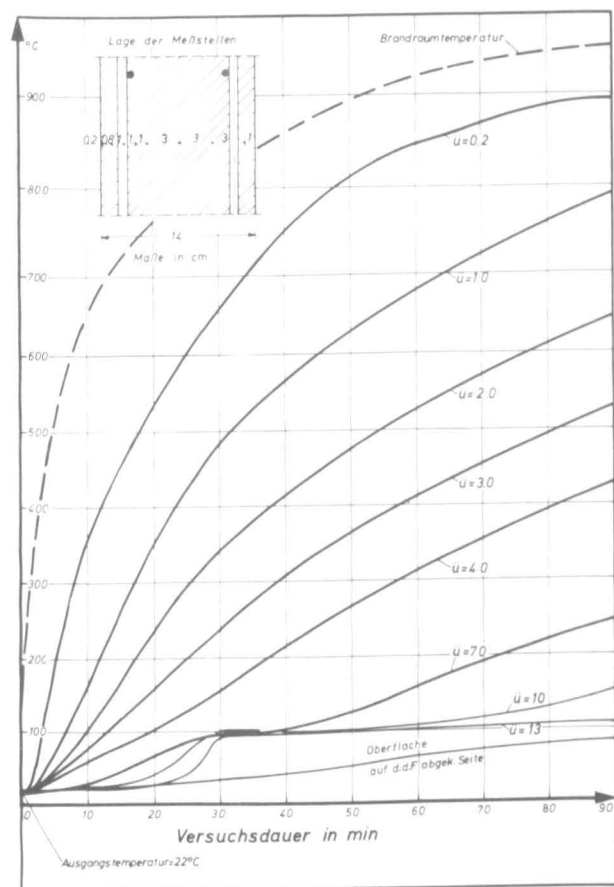


Bild 15: Stahlbetonwand – Temperaturen

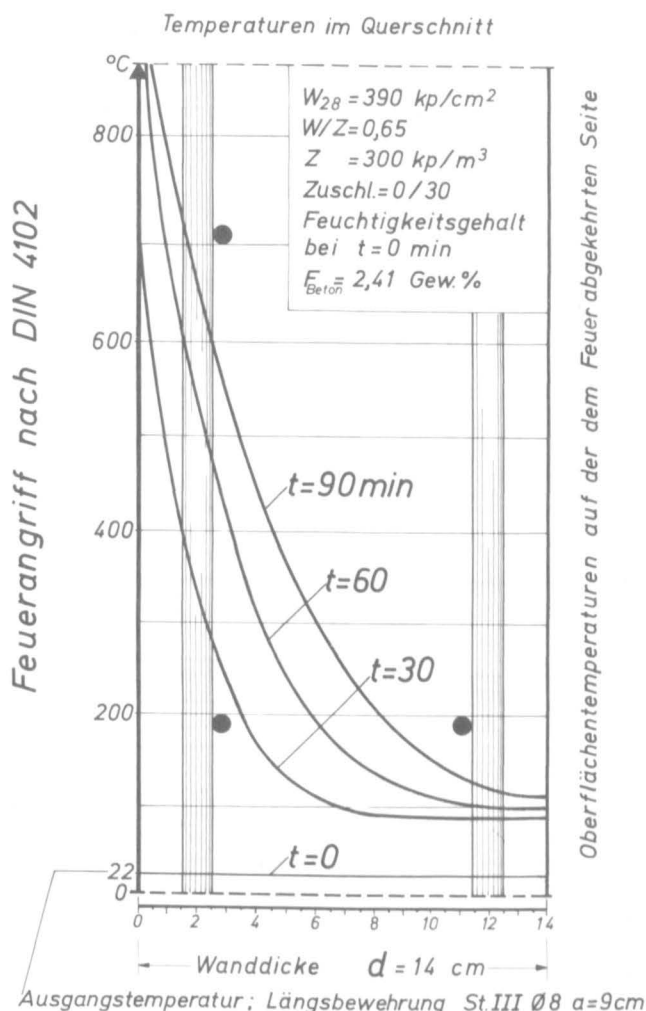


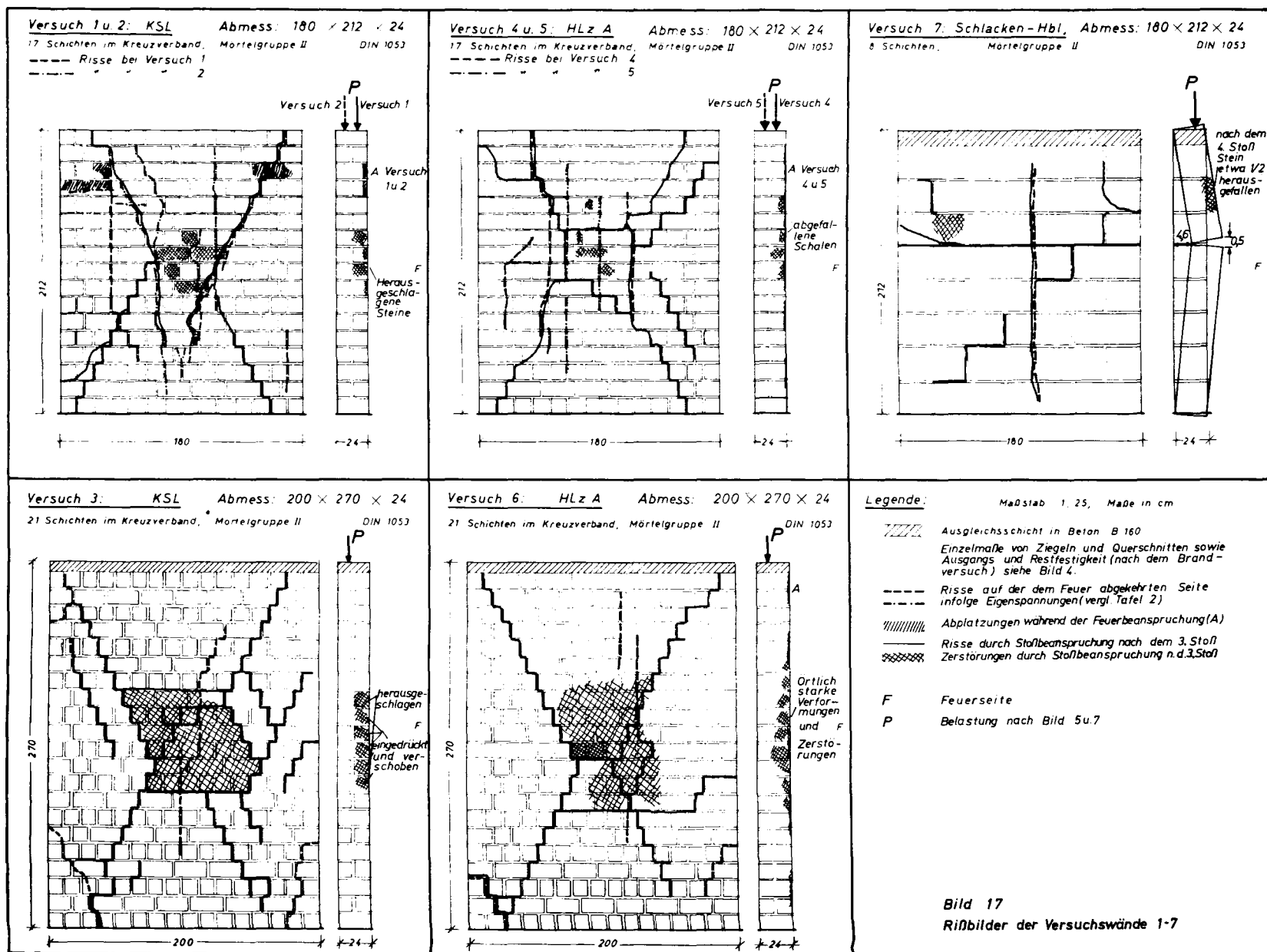
Bild 16: Stahlbetonwand – Temperaturverteilung

6.2 Beobachtungen während der Brandversuche

Während der Brandversuche konnten festgestellt werden:

1. Feuchtigkeitsflecke und Wasserverdampfung auf der dem Feuer abgekehrten Seite,
2. Haarrisse und Risse mit max. 2 mm Breite auf der dem Feuer abgekehrten Seite. Diese Risse waren auf der Feuerseite nicht sichtbar, woraus geschlossen wird, daß es sich um Risse infolge Temperatur-Eigenspannungen handelt: Die dem Feuer jeweils zugekehrte Seite der Wände möchte sich infolge Erwärmung dehnen. Sie wird durch die kälteren Zonen auf der dem Feuer abgekehrten Seite aber daran gehindert, weshalb in den relativ kalten Zonen Zug- und in der heißen Zone Druckspannungen – „Eigenspannungen“ – auftreten. Überschreiten die Zugspannungen die Zugfestigkeit des Baustoffes, so treten die beschriebenen Risse auf, die auch in den Bildern 17 und 18 eingezeichnet sind. Diese Risse erreichen meistens nicht den oberen und unteren Wandrand, weil dieser jeweils durch die Lastaufbringung stark in der Querdehnung behindert ist.

Bild 17: Rißbilder der Versuchswände 1-7



Tafel 1

Versuch Nr.	Prüfkörper	Ausg.- Temp. in °C	Temperaturerhöhung über die Ausgangstemperatur in grd					
			maximal bei			im Mittel bei		
			30	60	90	30	60	90
			min			min		
1	KSL	20	0	28	48	0	18	32
2	KSL	19	0	19	50	0	18	37
3	KSL	28	0	31	56	0	18	41
4	HLz	19	0	0	9	0	0	8
5	HLz	15	0	0	16	0	0	11
6	HLz	20	0	3	24	0	2	20
7	Hbl	15	5	57	73	3	19	33
8	Beton	10	22	57	78	21	54	73
9	Stahlbeton	22	11	49	73	11	42	61
10	Ziegel m.	10	0	41	58	0	20	45
11	Ziegel m.	27	43	74	74	23	62	63
12	Ziegel m.	10	28	75	86	19	67	81

Einen Überblick über die Feuchtigkeitsentwicklung, die Abplatzungen und die Risse gibt die folgende Tafel 2, in der zur allgemeinen Beurteilung auch das Prüfalter und der Feuchtigkeitsgehalt bei Prüfbeginn eingetragen ist, sofern letzterer festgestellt wurde.

6.3 Verformungen und Belastung während der Brandversuche

Die während der Versuche gemessenen Verformungen, jeweils in Wandmitte, sind in Tafel 3 und Bild 19 wiedergegeben. Bei den Versuchswänden 1 und 2 wurden Verformungsmessungen an 4 weiteren Punkten durchgeführt; Lage der Meßpunkte siehe Bild 2. Die Verformungen der Meßpunkte 2 und 3 entsprachen in der Regel den Verformungen der Meßstelle 1 in Feldmitte, z.T. waren sie geringfügig kleiner. Die Verformungen der Meßpunkte 4 und 5 waren stets Null oder nur ganz geringfügig.

Während der Versuche nahm die Belastung infolge der Temperaturdehnung der Wände ständig zu. Sie wurde stets so nachgeregelt, daß zu den Ableszeitpunkten d.h. alle 5 min. wieder die in Bild 5 angegebene Spannung herrschte. In verschiedenen Fällen mußte die Belastung sogar alle 2 bis 3 min nachgeregelt werden, um keine Belastung zu erhalten, die größer war als die Ausgangslast $P(t=0) + 10\%$.

6.4 Beobachtungen und Verformungen während der Stoßversuche

Die bei den Stoßversuchen gemessenen Verformungen sowie die dazugehörigen Beobachtungen sind in Bild 20 wiedergegeben. Die nach dem dritten Stoß registrierten

Risse sind auch in den Bildern 17 und 18 eingezeichnet. Die Reißbilder und Verformungen nach dem dritten Stoß bei den Versuchswänden Nr. 3 und 6 sind außerdem in den Bildern 21 und 22 photographisch festgehalten. aus

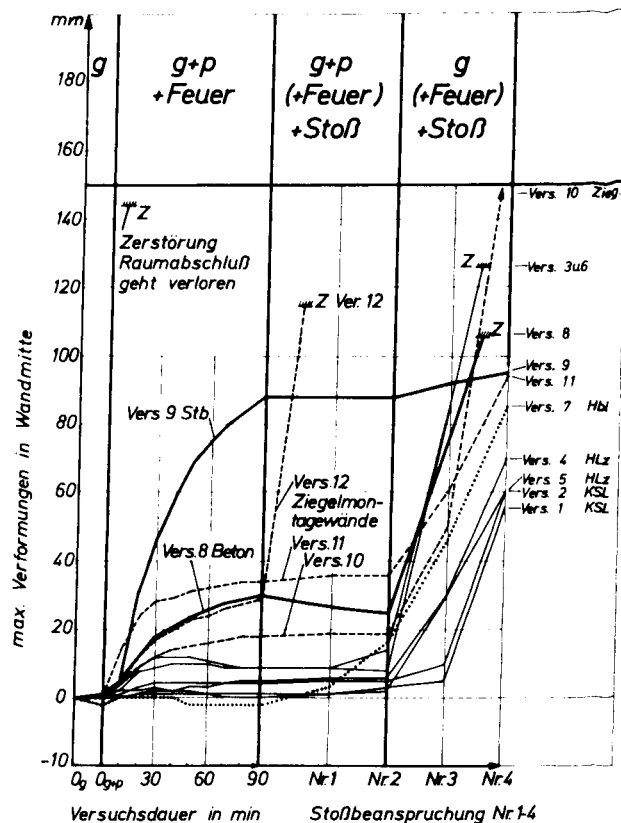


Bild 19: Verformungen der Versuchswände

Tafel 2
Beobachtungen während der Brandversuche

Ver- such Nr.	Prüf- körper	Alter bei Prüfbeginn in Tagen Feuchtigk. Gehalt in Gew.-%	Zeiträume in min der		
			sichtbaren Wasser- verdampfung	geringfügigen Ab- platzungen. Ab- platztiefe t und ϕ in mm	Entstehung von Rissen auf der dem Feuer abgek. Seite Rißbreite in mm
1	KSL	276	35 – 90	40, t ~ 10	22 – 70, max. b ~ 2
2	KSL	302	35 – 90	40, t ~ 10	22 – 70, max. b ~ 2
3	KSL	113	60 – 90	–	30 – 50, max. b ~ 1,5
4	HLz	289	85 – 90	20 – 90	45 – 80, max. b ~ 1
5	HLz	294	70 – 90	t ~ 5	45 – 80, max. b ~ 1
6	HLz	119	70 – 90	bei 90' etwa 60 % der Fläche abgeplatzt	18 – 40, max. b ~ 1
7	Hbl	205	45 – 90	–	30 – 35, max. b ~ 1
8	Beton	274	21 – 75	23, t ~ 10, ϕ ~ 150	30 – 80, max. b ~ 2
9	Stahlbeton	251	16 – 80	18, t ~ 15, ϕ ~ 50	18 – 80, max. b ~ 1
10	Ziegelm.	111	43 – 90	7, t ~ 5	14 – 16, max. b ~ 1
11	Ziegelm.	135	35 – 50	–	20 – 30, max. b ~ 0,5
12	Ziegelm.	108	20 – 70	3 – 5, Putz enthält Risse 7 Putz fällt ganz- flächig bis auf Spritzbewurf ab.	20 – 42, max. b ~ 1

Tafel 3
Verformungen in Wandmitte während der Brandversuche

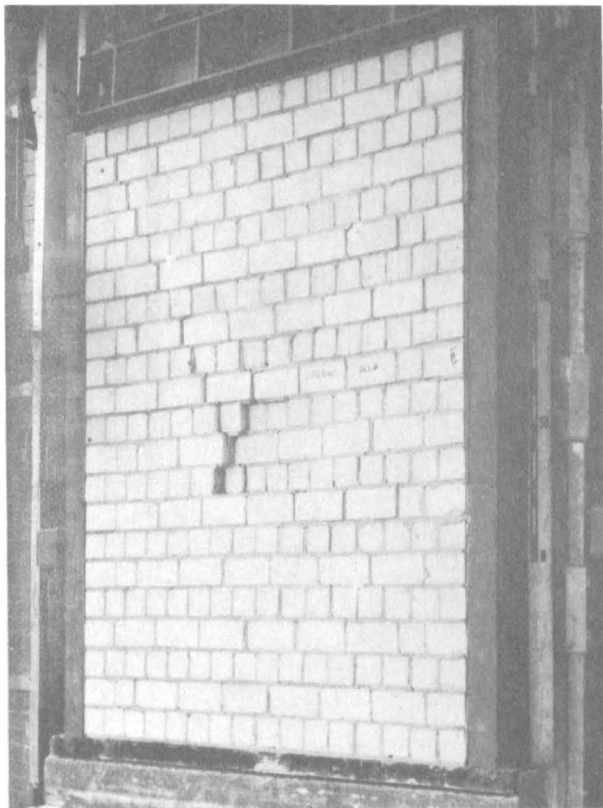
Ver- such Nr.	Prüf- körper	Verformungen in Wandmitte in mm bei (+ zum Feuer hin, - vom Feuer weg nach außen)										
		0 _g	0 _{g+p}	10	20	30	40	50	60	70	80	90 min
1	KSL	0	- 1	0	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	0	0	0
2	KSL	0	+ 1	+ 2	+ 2	+ 3	+ 2	+ 2	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1
3	KSL	0	0	+ 4	+ 9	+ 12	+ 12	+ 12	+ 11	+ 10	+ 9	+ 9
4	HLz	0	0	+ 1	+ 3	+ 4	+ 4	+ 4	+ 4	+ 4	+ 5	+ 5
5	HLz	0	0	0	+ 1	+ 2	+ 2	+ 3	+ 3	+ 4	+ 4	+ 4
6	HLz	0	0	+ 2	+ 8	+ 9	+ 10	+ 10	+ 10	+ 9	+ 9	+ 9
7	Hbl	0	- 1	0	0	0	0	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1
8	Beton	0	+ 1	+ 5	+ 12	+ 18	+ 21	+ 24	+ 26	+ 28	+ 29	+ 30
9	Stahlbeton	0	0	+ 5	+ 31	+ 46	+ 59	+ 69	+ 75	+ 80	+ 84	+ 88
10	Ziegelm.	0	0	+ 5	+ 9	+ 12	+ 14	+ 15	+ 16	+ 17	+ 18	+ 18
11	Ziegelm.	0	0	+ 14	+ 24	+ 28	+ 29	+ 31	+ 32	+ 33	+ 34	+ 34
12	Ziegelm.	0	0	+ 4	+ 12	+ 17	+ 20	+ 23	+ 24	+ 26	+ 27	+ 29

Versuch Nr.	Prüfkörper	h/d nach Bild 5	Beobachtungen und Verformungen (f) in Wandmitte während der Stoßversuche, ausgeführt nach Abschnitt 5.5.4							
			Wände unter Belastung nach Bild 5				Wände in entlastetem Zustand (nur Eigengewicht)			
			Stoß Nr. 1		Stoß Nr. 2		Stoß Nr. 3		Stoß Nr. 4	
			f ₁ *)	Beobachtungen	f ₂	Beobachtungen	f ₃	Beobachtungen	f ₄	Beobachtungen
1	KSL	8,85	1	Keine wesentlichen Veränderungen des Zustandes bei 90 min. Fugenmörtel fällt teilweise heraus.	3	Die dem Feuer zugekehrte Seite platzt teilweise bis zu 1 cm Tiefe ab. Haarrisse, Diagonalrisse.	5	Weiterer Fugenmörtel fällt heraus. Risse aus der 90. Minute vergrößern sich auf 4-6 mm Breite. Entstehung von weiteren Diagonalrissen, s. Bild 17.	50-55	Mehrere halbe Steine aus den Kopfschichten fallen heraus. Vergrößerung der Diagonalrisse. Örtlich starke Verformungen in Wandmitte. Raumabschluß bleibt gerade noch gewahrt.
2			1		2		30		60	
4	HLz	8,85	6	Wie Versuch 1 und 2	6	Weiterer Fugenmörtel fällt heraus, sonst keine wesentlichen Veränderungen. Entstehung von Diagonalhaarrissen.	10-30	Es fallen ein paar Ziegelschalen ab, vergl. Bild 17: Fugenmörtel fällt weiter heraus. Entstehung von Diagonalrissen, Vergrößerung der alten Risse auf max. 2 mm.	60-70	Vergrößerung der Diagonalrisse. Örtlich starke Verformungen im Stoßbereich. Raumabschluß bleibt gerade noch gewahrt.
5			5		5		8-10		60-60	
3	KSL	11,3	9	Wie Versuch 1 und 2	8	Wie Versuch Nr 4 und 5	50-85	Mehrere halbe Steine aus den Kopfschichten fallen heraus. Entstehung von Diagonalrissen max. 2 mm breit; Örtlich starke Verformungen. Raumabschluß bleibt gerade noch gewahrt, vergl. Bild 21 und 22.	∞	Zerstörung der Wandmitte. Raumabschluß geht verloren. Vergl. Bild 21 und 22.
6	HLz		9		14		60-85		∞	
7	Hbl	8,85	3	Wie Versuch 1 und 2	16	Diagonal-Haarrisse, Einwölbung - 3. Fuge von oben klappt ~5 mm auf ~ Zurückfedern.	46	Riß aus 90. Min. auf Innenseite sichtbar. 3. Fuge von oben klappt um 5 mm, Wand knickt etwas ein.	50-85	Riß aus 90. Min. max 10-15 mm breit, verzahnt, so daß kein Feuerdurchtritt. Weiteres Einknicken der Wand, Raumabschluß bleibt gerade noch gewahrt.
8	Beton B 160	15,2	27	Keine wesentliche Veränderung des Zustandes bei 90 min. Entstehung verschiedener Haarrisse, diagonal.	25	Wie bei Stoß Nr 1, Haarrisse max. 1 mm breit.	76	Diagonalrisse max. 3 mm breit, verzahnt; Raumabschluß bleibt gerade noch gewahrt.	192	Zerstörung der Wand; vergl. Bild 23. Raumabschluß geht verloren.
9	Stb. B 300	18,9	88	Keine wesentliche Veränderung des Zustandes bei 90 min. Stoß wird federnd aufgefangen	88	Wie bei Stoß Nr 1	92	Wie bei Stoß Nr 1	95	Wie bei Stoß Nr 1. Raumabschluß voll wirksam.
10	Ziegelmontage- wände 16,5	12,9	19	Keine wesentliche Veränderung des Zustandes bei 90 min. Fugenbeton fällt teilweise etwas heraus.	19	Wie bei Stoß Nr 1. Wand federt, teilweise Haarrisse.	50	Durchgehender waagerechter Riß - Fuge klapft um etwa 8 mm. Weitere durchgehende senkrechte Haarrisse.	170	Risse klaffen bis max. 30 mm. Raumabschluß voll wirksam.
11		16,1	36		36		61	Haarrisse max. 1 mm breit, Wand federt.	94	Weitere diagonal verlaufende Haarrisse, Raumabschluß voll wirksam.
12	Ziegelmontage- wände 11,5	19,3	∞	Es entstehen mehrere Risse, Mittelfuge klapft um ~15 mm, Lastabfall. Bei erneuter Belastung knickt Wand aus. Raumabschluß geht verloren.	—	—	—	—	—	—

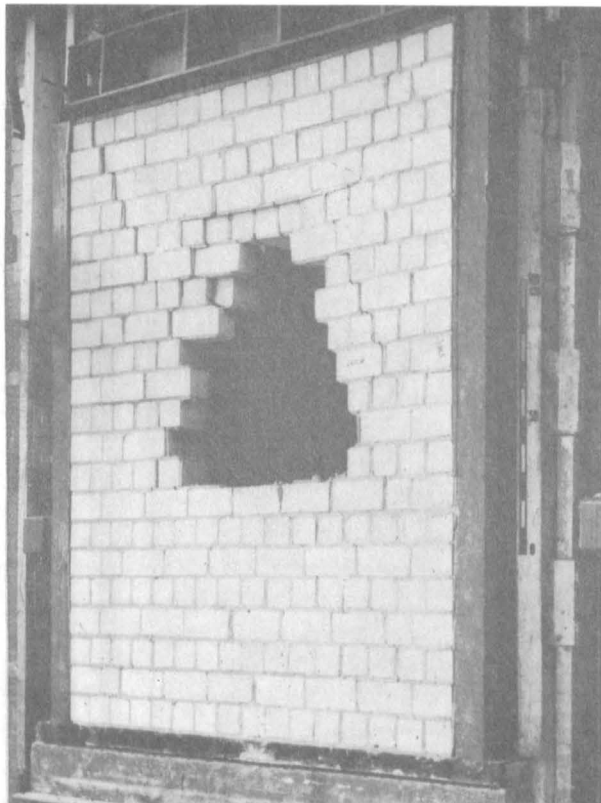
Bild 20: Beobachtungen und Verformungen während der Stoßversuche

*) f in mm zur Feuerseite; in den Verformungen sind die Verformungen infolge Feuerbeanspruchung enthalten, vergl. Bild 19

Bild 21: KSL-Versuchswand 3 nach den Stoßbeanspruchungen



Rißbild nach Stoß Nr. 3



Zerstörung nach Stoß Nr. 4

denen auch der Zustand der Zerstörung nach dem jeweils vierten Stoß ersichtlich ist. Bild 23 zeigt die zerstörte unbewehrte Betonwand (Versuch Nr. 8) nach dem vierten Stoß. Die Verformungen jeweils in Wandmitte sind auch in Bild 19 eingetragen.

Aus den Meßergebnissen und Darstellungen der Bilder 17 – 23 ist ersichtlich, daß

1. alle Versuchswände ihre Tragfähigkeit unter den geschilderten Beanspruchungen bis zur 90. Versuchsmminute, d.h. bis zur Stoßbeanspruchung, beibehielten und auch alle Anforderungen nach DIN 4102 Blatt 2, Ausgabe 1965, erfüllten.
2. alle Versuchswände mit Ausnahme der 11,5 cm dicken Ziegelmontagewand (Versuch Nr. 12) den geschilderten Stoßbeanspruchungen unter Belastung ($g+p$) so widerstanden, daß Raumabschluß und Tragfähigkeit nicht verloren gingen.

Die Stöße Nr. 1 und 2 wurden alle federnd aufgefangen; eine zusätzliche Durchbiegung wurde in der Regel nicht registriert.

3. die Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbeanspruchung von den in Bild 10 dargestellten Einflußgrößen abhängt – bei den hier durchgeführten Versuchen insbesondere von:

1. der lotrechten Belastung ($g+p$)
2. den verwendeten Baustoffen,

3. vorhandener oder nicht vorhandener Bewehrung und
4. dem Schlankheitsgrad der Konstruktion.

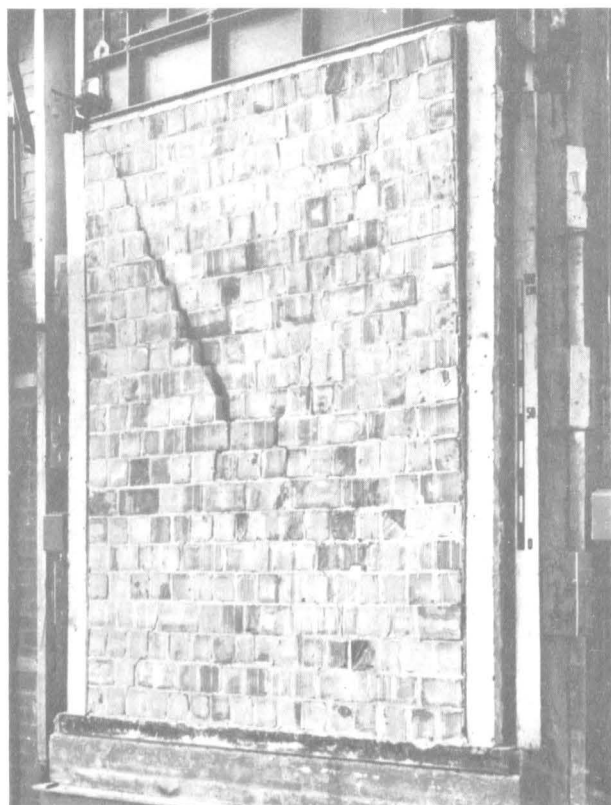
Der Einfluß des Baustoff-Raumgewichtes war bei den Versuchen 1 – 12 weniger gut erkennbar, da die untersuchten Raumgewichte nicht extrem unterschiedlich waren, vergl. Bild 1.

4. die Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbeanspruchung ohne Belastung p (nur Eigengewicht g) erheblich kleiner ist als bei Belastung ($g+p$), vergl. auch Verformungen in Bild 19.
5. alle Versuchswände mit Ausnahme der 11,5 cm dicken Ziegelmontagewand auch dem Stoß Nr. 3 so widerstanden, daß der Raumabschluß gewahrt blieb. Die Verformungen waren z.T. jedoch beachtlich groß.
6. der Raumabschluß bei Stoß Nr. 4 nach den Angaben der folgenden Tafel verlorenggeht:

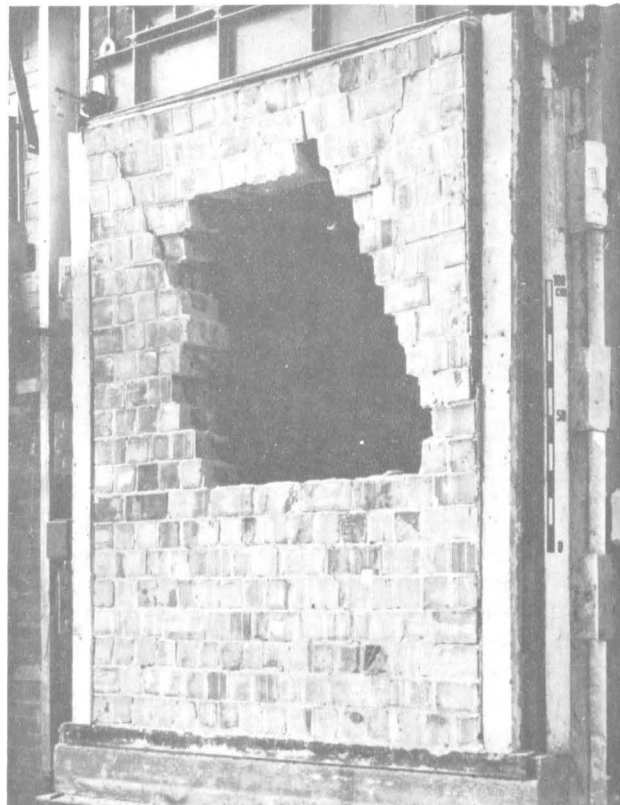
bei den untersuchten Wänden, gemauert nach DIN 1053 (ohne Bewehrung)	bei einem Schlankheitsgrad von ~ 11 (Wanddicke = 24 cm)
bei unbewehrten Betonwänden	bei einem Schlankheitsgrad von ~ 15 (Wanddicke = 14 cm)

7. die Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbeanspruchung steigt, je höher der Bewehrungsgehalt ist, sofern er gleichmäßig verteilt ist.

Bild 22: HLz-Versuchswand 6 nach den Stoßbeanspruchungen



Rißbild nach Stoß Nr. 3



Zerstörung nach Stoß Nr. 4

Die Stahlbetonwand und die bewehrten Ziegelmontagewände mit 16,5 cm Dicke widerstanden allen Beanspruchungen – auch dem Stoß Nr. 4.

8. die Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbeanspruchung gering ist, wenn eine große Schlankheit (kleine Wanddicke) und nur eine schwache Bewehrung vorliegt.

Die nur 11,5 cm dicke Ziegelmontagewand mit schwacher Bewehrung wurde bereits nach dem ersten Stoß zerstört, vorhandener Schlankheitsgrad 19,3.

9. die Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbeanspruchung wächst, je weiter die Bewehrung an der Bauteiloberfläche liegt (Hebelarm der inneren Kräfte ist größer), obwohl sie an der Feuerseite heißer wird als eine tieferliegende Bewehrung.

Dies konnte bei den asymmetrisch aufgebauten Ziegelmontagewänden Nr. 10 und 11 beobachtet werden, wo sich Wand 10 (Schlankheit 12,9; Gesamtüberdeckung der Bewehrung an der Feuerseite 2,5 cm) schlechter verhielt als Wand Nr. 11 (Schlankheit 16,1; Gesamtüberdeckung der Bewehrung an der Feuerseite 1,5 cm), vergl. auch Bild 8.

10. bei den hier untersuchten Wänden nach Stoß Nr. 4 bezüglich Tragfähigkeit und Raumabschluß keine wesentlichen Unterschiede zwischen Lastfall 1 und 2 (vergl. Bild 7) auftraten.

Die Verformungen waren bei Lastfall 2 bei den Versuchswänden 2 und 5 etwas größer als bei den Ver-

suchswänden 1 und 4, die bei Lastfall 1 untersucht wurden.

11. sich die Versuchswand aus Hohlblocksteinen (Versuch Nr. 7) trotz der hohen Anteile an brennbaren Stoffen nach Stoß Nr. 4 ähnlich verhielt wie die entsprechenden Wände aus HLz und KSL bei gleicher Schlankheit.

Die Verformungen waren etwas größer als bei den HLz- und KSL-Wänden, was auf die Konstruktionsart (Verbund und Abmessungen der einzelnen Steine) und auf das etwas geringere Raumgewicht zurückgeführt werden kann.

Die in den vorstehenden Punkten 1 – 11 angegebenen Zahlenwerte – insbesondere die Schlankheitsgrade, bei denen die Konstruktionen beim 4. Stoß versagten – können wegen der geringen Anzahl der Versuche noch nicht verallgemeinert werden. Genauere Rückschlüsse auf die Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbeanspruchung unter der beschriebenen Last- und Feuerbeanspruchung sind erst nach weiteren Versuchen möglich (s. Teil II).

6.5 Festigkeit der Baustoffe nach den Versuchen

Nach den Brand- und Stoßversuchen wurden die Versuchswände vorsichtig abgebaut. Aus den Stein- und Ziegelwänden wurden Proben entnommen, die auf Druckfestigkeit untersucht wurden. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Bild 4 wiedergegeben und den Festigkeitswerten im Ausgangszustand gegenübergestellt. Aus dieser



Bild 23: Unbewehrte Betonwand nach den Stoßbeanspruchungen

Gegenüberstellung ist ersichtlich, daß durch die Beanspruchungen kaum Festigkeitsminderungen auftraten. Selbst die Wand aus Hohlblocksteinen mit hohem Gehalt an brennbaren Stoffen zeigte nur einen Festigkeitsabfall von rd. 4 %. Eine wesentliche Zermürbung der dem Feuer zugekehrten Seite konnte nicht festgestellt werden!

7. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Es wurden insgesamt 12 Wände unter exzentrischer Belastung und Feuerbeanspruchung nach DIN 4102 sowie unter einer vierfachen Stoßbeanspruchung nach Brandversuchen untersucht. Bei 9 Wänden (5 Wandtypen) handelte es sich im wesentlichen um nach den Vorschriften bereits übliche „Brandwände“, die übrigen 3 Wände waren Ziegelmontagewände.

Die Auswahl der Versuchswände und Beanspruchungsgrößen – Belastung, Feuerangriff und Stoßbeanspruchung – wird ausführlich diskutiert, wobei Vergleiche mit in- und ausländischen Versuchserfahrungen gezogen werden. Die Art und Größe von Belastung und Stoßbeanspruchung sollte praxisnah sein und so festgelegt werden, daß die raumabschließende Wirkung der üblichen „Brandwände“ unter den gewählten Beanspruchungen nach einem 90-Minuten-Brandversuch im Sinne von DIN 4102 gerade noch voll wirksam ist. Aus den gewonnenen Erfahrungen sollen Prüf- und Beurteilungsgrundsätze für „Brandwände“ für DIN 4102, Brandverhalten von Bau-

stoffen und Bauteilen, Blatt 3, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen von Sonderbauteilen aufgestellt werden.

Die untersuchten 9 „Brandwände“ widerstanden allen gewählten Beanspruchungen bis zum einschließlich dritten Stoß. Beim vierten Stoß wurden drei Wände zerstört; die übrigen sechs Wände widerstanden auch dem vierten Stoß. Von den untersuchten Ziegelmontagewänden widerstanden zwei Wände allen gewählten Beanspruchungen, eine Ziegelmontagewand wurde bereits nach dem ersten Stoß zerstört.

Die Widerstandsfähigkeit von Wänden gegen Stoßbeanspruchung bei gleichzeitiger Belastung g oder $g+p$ sowie Feuerbeanspruchung wird diskutiert. Es wird gezeigt, daß die Widerstandsfähigkeit sowohl vom Baustoff (Festigkeit, E-Modul, Raumgewicht) als auch von der Gesamtkonstruktion (Form, Verbund, Abmessungen, Bewehrung, Schlankheit, Lagerung, Belastung) abhängt.

Die durchgeführten Versuche reichen noch nicht aus, um einheitliche Prüf- und Beurteilungsgrundsätze für „Brandwände“ für DIN 4102 aufzustellen. Da die üblichen Brandwandkonstruktionen hinsichtlich der Baustoffe und Konstruktionen sehr unterschiedlich sind (vergl. auch Bild 1 und Abschnitt 2 – 3) und insgesamt nur 9 übliche Brandwände untersucht wurden, müssen noch Ergänzungsversuche durchgeführt werden, über die in Teil II zu diesem Forschungsauftrag berichtet werden soll. Eine Gegenüberstellung der üblichen und untersuchten Brandwände (Teil I) und der geplanten Versuche (Teil II) ist aus Bild 1 b ersichtlich.

Eine abschließende Diskussion über die zukünftigen Prüf- und Beurteilungsgrundsätze für Brandwände für DIN 4102 kann erst nach Aufstellung des Abschlußberichtes Teil II geführt werden. Eine vorläufige Diskussion – auch im Zusammenhang mit dem bereits erschienenen Gelbdruck DIN 4102 Blatt 3 Entwurf 1965 – ist aus [13] ersichtlich.

LITERATUR-ZUSAMMENSTELLUNG

- [1] Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie, Bonn: Die Produktion der künstlichen Wandbausteine in der Bundesrepublik 1956 bis 1963 (nach Ermittlungen des Statistischen Bundesamtes)
- [2] Schellbach, G.: Montagebau mit genormten Ziegeln nach DIN 4159, Ziegelbautaschenbuch 1963
- [3] Tragende Wände aus Beton und Stahlbeton im Hochbau, Vorläufige Richtlinien für Bemessung und Ausführung, Fassung Januar 1955 (Ergänzung zu DIN 1045 und 1047), Betonkalender 1962
- [5] Vorläufige Richtlinien für Bauten aus großformatigen Wand- und Deckentafeln, Betonkalender 1965
- [6] Bericht über Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Vorfertigung mit Ziegeln, Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie (unveröffentlicht); inzwischen teilweise veröffentlicht:

- Schellbach, G.: Ziegelmontagebau, Abschnitt C des Buches „Ziegel 1967/68“, herausgegeben vom Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie
- [7] Bau- und Prüfgrundsätze für Reinigungsverschlüsse von Hausschornsteinen und Rauchkanälen, 1966, herausgegeben vom Prüfausschuß IV des LSA (Ländersachverständigenausschuß für neue Baustoffe und Bauarten)
 - [8] DIN 4102, Blatt 2, Ausgabe September 1965
 - [9] Richtlinien für Schutzräume, Teil IV: Lieferung und Abnahme von Abschlüssen, Fassung August 1965, herausgegeben vom Bundesminister für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung im Einvernehmen mit dem Bundesminister des Innern.
 - [10] ASTM Standard E 72 – 61
 - [11] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Agrément des Procédés de Construction non traditionnels, Essais de Chocs applicables au Contrôle et à la Réception des Murs-Rideaux, Panneaux de Façade et Elements de Remplissage. 62/21/9 EM-PC 1/03.
 - [12] Ebert, H.: Physikalisches Taschenbuch, 2. Auflage, 1957. Verlag Fr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig.
 - [13] Meyer-Ottens, C. und Bub, H.: Stoßbeanspruchung bei Wänden mit bestimmter Feuerwiderstandsdauer und bei Brandwänden. Berichte aus der Bauforschung, Heft 50, Januar 1967, Verlag W. Ernst u. Sohn, Berlin.

Teil II

1. Allgemeines

Im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau, Bad Godesberg, und mit Unterstützung des Fachverbandes Gasbetonindustrie e.V., Essen, untersuchte das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der TU Braunschweig, Direktor o. Prof. Dr.-Ing. Karl Kordina, unter Leitung des Berichterstatters insgesamt 9 Wände (Teil II) unter exzentrischer Belastung und Feuerbeanspruchung nach DIN 4102 sowie unter einer vierfachen Stoßbeanspruchung nach den Brandversuchen und ergänzte damit die an 12 Wänden vorliegenden Erfahrungen, s. Teil I.

Die Untersuchungen wurden durch den bestehenden Arbeitskreis – s. Teil I – beraten, der durch die folgenden Herren erweitert wurde:

1. ORR Dipl.-Ing. Jung, Bundesanstalt für Materialprüfung, (BAM), Berlin,
2. Dr.-Ing. J. Steinert, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau, TU Braunschweig

Die Untersuchungen Teil I bis II sind zu einem gewissen Abschluß gekommen; sie sind Grundlage für die Beratung von DIN 4102, Blatt 3, Entwurf 1965. Die vorliegenden Erfahrungen wurden durch weitere Versuche ergänzt, siehe [1].

2. Versuchsprogramm (Teil II)

In Ergänzung zu Teil I wurden folgende üblichen Brandwände untersucht:

1. 1 Brandwand aus Kalksandsteinen KSL 1,2/150 2 DF DIN 106
2. 1 Brandwand aus Mauerziegeln HLz A 1,2/150 2 DF DIN 105
3. 2 Brandwände aus Bims-Vollsteinen V 240 x 490 x 115/50/1,0 DIN 18 152
4. 1 Brandwand aus Bims-Hohlblocksteinen Zwk 240 x 490 x 238/50/1,0 DIN 18 151
5. 2 Brandwände aus Gasbeton-Steinen GS 50 490 x 240 x 240 DIN 4165
6. 1 Brandwand aus geschoßhohen Wandbauplatten aus Gasbeton GSB 35 entsprechend DIN 4223.

Die vorstehenden Wände unter Pkt. 1 bis 5 sind nach Norm übliche Brandwände, die Wand nach Pkt. 6 ist Brandwand gemäß Zulassungsbescheid des Landes NRW vom 21. 7. 1964.

[1] Meyer-Ottens, C.: „Zusammenstellung und Auswertung der Ergebnisse von Brandversuchen an Wand- und Deckenkonstruktionen“, April 1968, unveröffentlichter Abschlußbericht zum gleichlautenden Forschungsauftrag des Niedersächsischen Kultusministers, Hannover.

Zusätzlich zu diesen üblichen Brandwänden wurde

7. 1 feuerbeständige Wand aus liegend angeordneten Gasbeton-Wandplatten GSB 35 entsprechend DIN 4223 mit Fugenverklebung untersucht.

Einzelheiten zu den Baustoffen und zum Wandaufbau sind dem Anhang zu entnehmen.

3. Versuchsdurchführung – Prüfbedingungen (Teil II)

3.1 Lagerung

Die Lagerung aller Wände erfolgte entsprechend den Angaben von Teil I zweiseitig. Bei der Wand aus liegend angeordneten Gasbeton-Wandplatten waren die seitlichen Ränder mit praxismgerechten Anschlüssen gehalten; der obere Rand konnte sich frei verformen, der untere Rand war durch das Eigengewicht der gesamten Versuchswand durch Reibung mit dem Fußboden des Brandraumes verbunden.

3.2 Belastung

Die Belastung der Versuchswände erfolgte entsprechend den Angaben von Teil I exzentrisch mit Lastfall 1 oder 2 unter Ausnutzung der nach den einschlägigen Vorschriften zulässigen Spannungen – rechnerisch ermittelt in der Bodenfuge. Die Spannungswerte sind in Bild 6 zusammengestellt und können – ebenfalls in Bild 6 – mit den Werten aus Teil I verglichen werden; weitere Einzelheiten siehe Anhang.

Bei der Wand aus liegend angeordneten Gasbeton-Wandplatten wurde keine Belastung aufgebracht; die Wand stand entsprechend der Praxis nur unter Eigengewicht.

3.3 Feuerbeanspruchung

Die Feuerbeanspruchung erfolgte entsprechend Teil I nach DIN 4102, Blatt 2, Ausgabe 1965.

3.4 Stoßbeanspruchung

Die Stoßbeanspruchung erfolgte entsprechend Teil I mit einem nach den Erfahrungen von Teil III geringfügig abgeänderten Bleisack-Pendel. Der in Teil I beschriebene Bleisack wurde in ein als Pendel hängendes Stahlseilnetz – Maschenweite 50 mm x 50 mm, Stahlseildurchmesser 5 mm, Gesamtgröße bei abgewickelter Fläche 1200 mm x 1200 mm – gelegt, womit eine bessere Haltbarkeit und eine geringere Verformbarkeit des Pendels erreicht wurden. Nach Teil III ist erwiesen, daß mit dem stoßenden Pendel in der angewandten Art reproduzierbare Beanspruchungen erzielt werden. Der Versuchsaufbau ist in Bild 1 wiedergegeben.

Die Stoßenergie betrug auf Grund der Erkenntnisse nach Teil I in der Regel 300 kp m entsprechend DIN 4102, Blatt 3, Entwurf 1965. In einigen Fällen wurde die Stoßenergie auf 100 oder 200 kp m abgemindert, wenn nach den jeweils vorliegenden Versuchserfahrungen feststand, daß eine nochmalige Beanspruchung mit 300 kp m zu keinen neuen Ergebnissen geführt hätte.

Sofern die Wände ihren Raumabschluß nicht vorzeitig verloren, wurden 4 Stöße ausgeführt: Stoß 1 und 2 unter Belastung g + p, Stoß 3 und 4 unter Eigengewicht g. Bei der Wand aus liegend angeordneten Gasbeton-Wandplatten wurden nur 2 Stöße unter Eigengewicht ausgeführt.

Eine Übersicht über die angewendeten Stoßenergien und die Anzahl der Stöße geben die Bilder 6 und 7. Die Werte können hier mit den Werten nach Teil I verglichen werden.

Weitere Einzelheiten können dem Anhang entnommen werden.

4. Versuchsergebnisse (Teil II)

4.1 Temperaturen, Verformungen, Beobachtungen während und nach den Brandversuchen

Die während der Brandversuche gemessenen Temperaturen im Brandraum entsprachen DIN 4102, Bl. 2, Ausgabe 1965. Die auf der dem Feuer abgekehrten Seite gemessenen

Tafel 1
Temperaturerhöhungen und Verformungen während der Brandversuche
Ausgangstemperatur: 20°C

Lfd. Nr. (vergl. Anhang)	Prüf- körper	Temperaturerhöhung über die Aus- gangstemperatur in grad						Verformungen in Wandmitte in mm				
		maximal bei			im Mittel bei			bei				
		30	60	90	30	60	90	(+ zum Feuer; 0 g	0 g+p	30 min	60	90 - vom Feuer weg)
1.4	KSL	2	44	64	2	17	40	0	0	12	12	11
2.4	HLz	3	5	15	2	3	11	0	1	10	11	10
3.1.1	Bims V	3	4	9	2	3	7	0	1	3	4	4
3.1.2	Bims V	2	4	16	1	2	8	0	-0,2	2	2	-1
3.1.3	Bims Hbl	1	4	14	0	2	8	0	1	2	2	2
3.3.1.1	GS	2	4	7	1	3	5	0	0	1	0	-1
3.3.1.2	GS	2	4	17	1	3	8	0	0	2	2	2
3.3.2.1	GSB	2	4	5	1	3	4	0	0	2	5	6
3.3.2.3	GSB	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9	21

Tafel 2
Beobachtungen während der Brandversuche sowie Alter, Feuchtigkeitsgehalt,
Restfestigkeit und zermürbte Tiefe

Lfd. Nr. (vergl. Anhang)	Prüf- körper	Alter bei Prüfbeginn	Feuch- tigk.- gehalt	Zeiträume der		Restfestig- keit der Baustoffe, bez. auf die Ausgangsfe- stigkeit ³⁾	Zermürbte Tiefe auf d.d. Feuer zugekehrt. Seite nach 90 min
				sichtb. Wasser- verdampf.	Entstehung v. Rissen a. d.d. F. abge- kehrten Sei- te, b=Breite		
—	—	Tage	Gew.-%	min	min, mm	%	mm
1.4	KSL	59	1)	50–90	15–60, b~2	2)	1)
2.4	HLz	55	1)	—	10–76, b~1	90	2
3.1.1	Bims V	41	11,5	—	—	39	25–30
3.1.2	Bims V	44	11,5	—	—	39	25–30
3.1.3	Bims Hbl	48	9,8	—	10, b<1 in Fugen	37	20–30
3.3.1.1	GS	50	2,3	—	—	92	16–18
3.3.1.2	GS	57	1,8	—	—	90	17
3.3.2.1	GSB	41	1)	—	—	1)	45–50
3.3.2.2	GSB	8	1)	—	—	89	15–19

1) wurde nicht gemessen

2) konnte wegen Zerstörung der Steine nach der Stoßbeanspruchung nicht gemessen werden.

3) festgestellt nach den Brand- und Stoßversuchen an Probekörpern, die aus relativ unzerstörten Bereichen der Wände entnommen wurden.

nen Temperaturerhöhungen über die Ausgangstemperatur sind im Anhang und zusammenhängend in Tafel 1 wiedergegeben. In Tafel 1 sind ebenfalls die Verformungen in Wandmitte eingetragen. Die wichtigsten Beobachtungen sind in Tafel 2 zusammengestellt. Aus dieser Tafel sind auch Alter, Feuchtigkeitsgehalt der Baustoffe, Restfestigkeit, bezogen auf die Ausgangsfestigkeit und

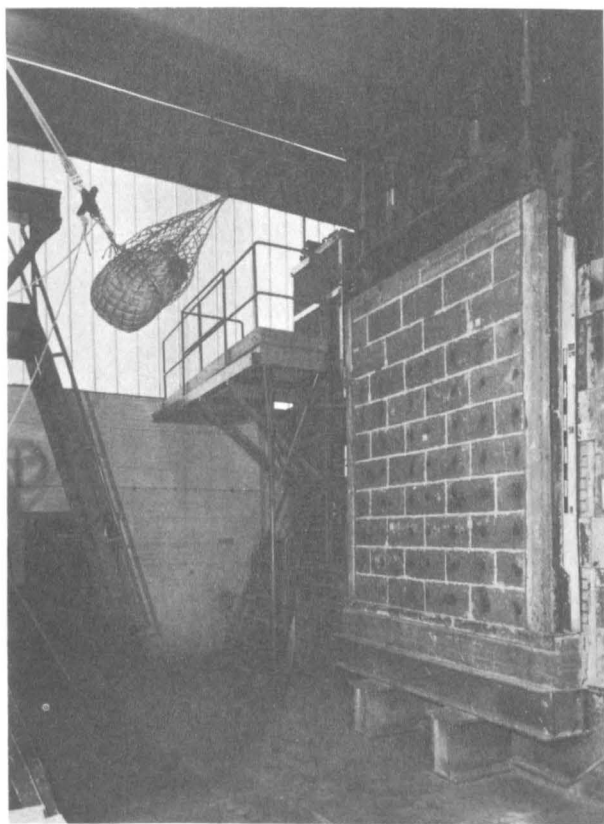


Bild 1: Versuchsaufbau, Bleisackpendel

zermürbte Tiefe auf der Feuerseite ersichtlich, Einzelheiten können dem Anhang entnommen werden.

Wie aus Tafel 1 ersichtlich ist, lagen die gemessenen Temperaturerhöhungen nach 90 Minuten Feuerbeanspruchung weit unter den zulässigen Temperaturerhöhungen von 140/180 grd nach DIN 4102, Bl. 2; sie lagen bei den verwendeten leichten Baustoffen Bims und Gasbeton auch erheblich niedriger, als bei den nach Teil I untersuchten schwereren Baustoffen, vgl. Tafel 1 in Teil I.

Die Verformungen infolge exzentrischer Belastung und Feuerbeanspruchung waren bei allen hier untersuchten

Wänden gering. Sie lagen im Bereich der nach Teil I festgestellten Verformungen vergleichbarer Stein- oder Ziegelwände, vgl. Tafel 3 und Bild 19 in Teil I. Wesentliche Unterschiede zwischen Lastfall 1 und 2 konnten bis zur 90.ten Versuchsminute nicht festgestellt werden. Beim Lastfall 1 – σ_R , Feuer = σ_{zul} ; σ_R , feuerabgek. S. = 0 bei $t = 0$ Minuten – verformten sich die untersuchten Wände mit zunehmender Zermürbung der Wand auf der Feuerseite vom Feuer weg. Die festgestellten „negativen“ Wanddurchbiegungen waren trotz der in manchen Fällen erheblichen Zermürbung auf der Feuerseite noch gering. Die Versuchswände behielten bis zur 90.ten Minute alle ihre Tragfähigkeit; der Raumabschluß blieb wirksam.

Die untersuchten Wände können daher auch unter einer exzentrischen Belastung nach Lastfall 1 oder 2 in die Feuerwiderstandsklasse F 90 eingestuft werden.

Bei der nur unter Eigengewicht stehenden Wand aus liegend angeordneten Gasbeton-Wandplatten wurden alle Anforderungen nach DIN 4102, Bl. 2, Ausgabe 1965 ebenfalls erfüllt. Der verwendete Kleber beeinflusste die Ergebnisse nicht negativ.

4.2 Beobachtungen und Verformungen während der Stoßversuche

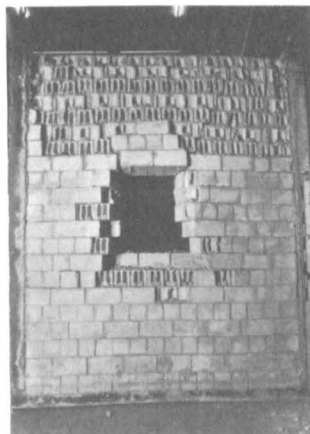
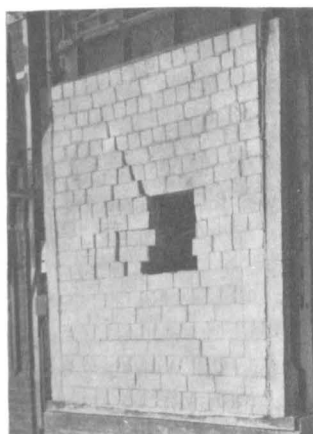
Die bei den Stoßversuchen gemessenen Verformungen sowie die dazugehörigen Beobachtungen sind im einzelnen aus dem Anhang zu ersehen. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Tafel 3 wiedergegeben. Einzelheiten über das Ausmaß der Zerstörungen sind auch aus den Bildern 2 bis 5 zu ersehen.

Wie aus Tafel 3 ersichtlich, haben

1. alle unter Last g+p stehenden üblichen Brandwände einen zweimaligen Stoß mit 300 kp m ausgehalten und dabei ihren Raumabschluß bewahrt (1. und 2. Stoß),
2. alle unter Last g stehenden üblichen Brandwände ihren Raumabschluß beim 3. oder 4. Stoß verloren

Bild 2: KSL – Wand, Lfd. Nr. 1.4.

HLz – Wand, Lfd. Nr. 2.4.



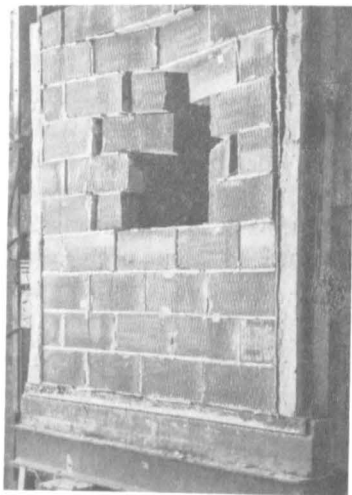
Außenseite
Innen-(Feuer-)Seite
nach dem 3. Stoß (300 kp m)



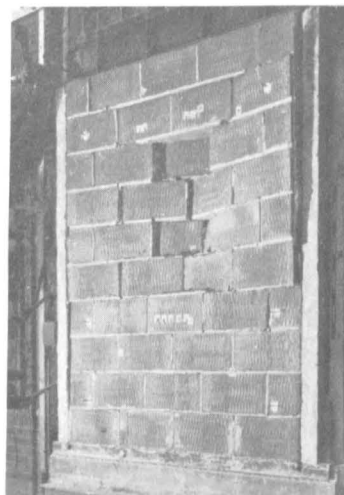
Außenseite
Innen-(Feuer-)Seite
nach dem 4. Stoß (300 kp m)

Bild 3:

GS – Wand, Lfd. Nr. 3.3.1.1.

Außenseite
nach dem 3. Stoß (300 kp m)

GS – Wand, Lfd. Nr. 3.3.1.2.

Außenseite
nach dem 4. Stoß (100 kp m)

Außenseite

Tafel 3

Verformungen und Beobachtungen während der Stoßversuche

Lfd. Nr. (vergl. Anhang)	Prüf- körper	Stoß- energie in kpm	Verformungen in mm in Wandmitte ¹⁾ und Beobachtungen während der Stoßversuche Nr. 1 - 4.				
			Last g + p		Last g		Raumabschluß geht verloren b. Stoß Nr.
			1. -	2. -	3. -	4. Stoß	
1.4	KSL	300	11	12	∞	—	3. s. Bild 2
2.4	HLz	300	11	12	18	∞	4. s. Bild 2
3.1.1	Bims V	300	13	13	∞	—	3
3.1.2	Bims V	200	0	0	30	∞	4
3.1.3	Bims Hbl	300	3	15	∞	—	3
3.3.1.1	GS	300	0	0	∞	—	3. s. Bild 3
3.3.1.2	GS	100	2	2	60	∞	4. s. Bild 3
3.3.2.1	GSB	300	6	7	80	200	4. nur in den Fugen s. Bild 4
3.3.2.2	GSB	300	—	—	61	120	2. am Anschluß s. Bild 5

1) einschl. der Verformung infolge 90 Minuten Feuerbeanspruchung.

— Stoßenergie 100, 200 oder 300 kp m, siehe Tafel 3,
Bilder 2 – 5 und Anhang.3. Die Versuchswand aus liegend angeordneten Gasbeton-
Wandplatten verlor ihren Raumabschluß beim 2. Stoß
(Last g).Das Ausmaß und der Zeitpunkt der Zerstörungen sind –
wie in Teil I schon beschrieben – abhängig von

1. Form, Verbund und Abmessungen,
2. Wanddicke, Stützweite und Schlankheit,
3. Lagerung und
4. Belastung und Spannung jeweils der Gesamtkonstruk-
tion sowie von

5. Oberflächenstruktur,

6. Festigkeit,

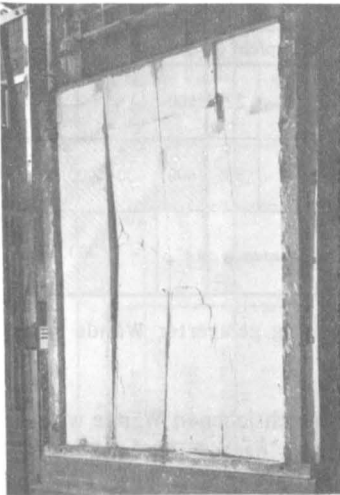
7. E-Modul und

8. Raumgewicht jeweils der verwendeten Baustoffe oder
Bauelemente.

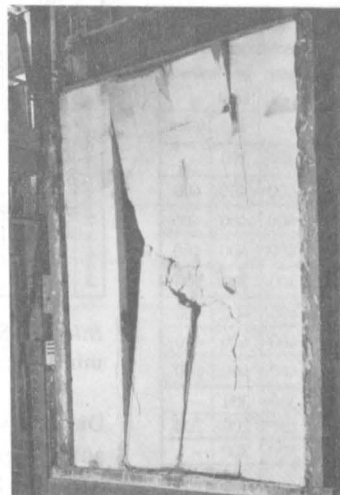
5. Zusammenfassung (Teil I und II)

Im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen
und Städtebau, Bad Godesberg, und mit Unterstützung
des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie e.V.,
Bonn, und des Fachverbandes Gasbetonindustrie e.V.,
Essen, untersuchte das Institut für Baustoffkunde und

Bild 4:
GSB – Wand, Lfd. Nr. 3.3.2.1.



Außenseite
nach dem 3. Stoß (300 kp m)
Raumabschluß ist voll gewahrt.

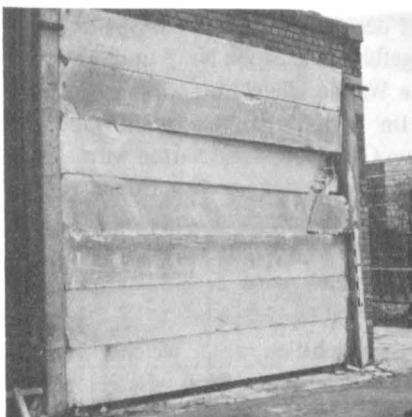


Außenseite
nach dem 4. Stoß (300 kp m)
Raumabschluß ist in Fugen verloren gegangen.

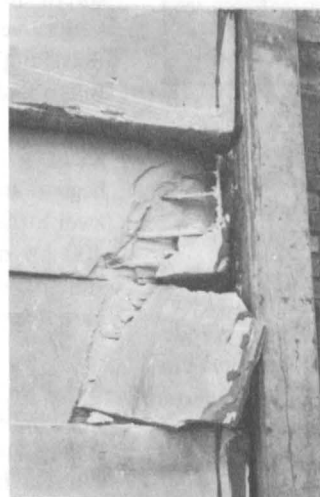


Innen-(Feuer-)Seite

Bild 5:
GSB – Wand, Lfd. Nr. 3.3.2.2.



Außenseite
nach dem 2. Stoß (300 kp m), Wand stand nur unter Eigengewicht



Außenseite



Innen-(Feuer-)Seite

Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig
in Teil I + Teil II des Forschungsauftrages insgesamt

9 + 8 = 17 nach Norm oder Zulassungsbescheid übliche „Brandwände“ unter einheitlichen Bedingungen sowie

3 + 1 = 4 feuerbeständige Wände unter den gleichen Bedingungen, unter denen die Brandwände geprüft wurden.

Für „Brandwände“ gab es bisher keine einheitlichen Prüfbedingungen, Anforderungen und Beurteilungsgrundsätze. Ziel des Forschungsauftrages war es daher, die o.a. Wände unter einheitlichen Prüfbedingungen zu untersuchen, wobei die üblichen Brandwände folgenden drei Beanspruchungen widerstehen sollten:

1. einer Beanspruchung durch exzentrische Belastung,
2. einer 90-Minuten-Feuerbeanspruchung nach DIN 4102 und
3. einer bzw. mehreren Stoßbeanspruchungen nach dem Brandversuch.

Die Art und Größe der Belastung und Stoßbeanspruchung sollte so festgelegt werden, daß die raumabschließende Wirkung der Brandwände unter den gewählten Beanspruchungen nach einem 90-Minuten-Brandversuch im Sinne von DIN 4102 gerade noch voll wirksam ist.

Aus den gewonnenen Erfahrungen sollen Prüf- und Beurteilungsgrundsätze für Brandwände für DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Blatt 3, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen von Sonderbauteilen, aufgestellt werden.

Bild 6: Standfestigkeit 2-seitig gelagerter Brandwände n. 90 min Feuerbeanspruchung

Brandwand			d	λ	G_{Rand} auf d.d. Feuer	Stoß: 100 b. 400 kpm			
Art	γ	G_d	h/d		zugel./abgek. Seite	bleibt gewahrt Last g+p	geht verloren Last g		
	kp/dm ²	kp/dm ²	cm		kp/cm ²	1.-	2.-	3.-	4.-Stoß
KSL	1,18	134	24	11,0	0 12	300	300	300	-
1,2-1,6 /				11,3	0 12	400	400	400	400
~150 2DF				8,85	0 12	400	400	400	400
DIN 106	1,47	188		8,85	12 0	400	400	400	400
HLz A	1,20	169	24	11,0	0 12	300	300	300	300
1,2-1,4 /				11,3	0 12	400	400	400	400
~150 2DF				8,85	0 12	400	400	400	400
DIN 105	1,28	218		8,85	12 0	400	400	400	400
Bims	V	1,01	24	11,0	0 6	300	300	300	-
	50/10			11,0	6 0	200	200	200	200
	Hbl	0,94		11,0	0 6	300	300	300	-
Schädel	Hbl	1,24	24	8,85	7 0	400	400	400	400
	50/1,2								
GS	0,68	46	24	11,0	6 0	300	300	300	-
	~50			11,0	0 6	100	100	100	100
GSB 35 geschloßh Fuge Ø 6 Mörtelgr. III	~0,60	46	20	13,25	0 5	300	300	300	300
Beton B120 unbewehrt	2,40	267	14 ¹⁾	15,2	0 40	400	400	400	400
Stahlbeton B 300	2,4- 2,5	~450	14	18,9	0 90	400	400	400	400

1) Unbewehrte Wände aus Beton gelten nach den z.Z. geltenden Vorschriften erst mit Dicken $d \geq 18$ cm als Brandwände. Die hier beschriebenen Ergebnisse wurden an dieser Stelle nur aus Vergleichsgründen aufgeführt.

Im einzelnen wurden die in Bild 6 und 7 in Kurzform beschriebenen Brandwände und feuerbeständigen Wände untersucht. In den Spalten 1 – 3 dieser Bilder sind die verwendeten Baustoffe und ihre wichtigsten Kennwerte angegeben. Bei den gemauerten Wänden wurde stets Mörtel der Gruppe II DIN 1053 verwendet. Aus den Spalten 4 – 7 sind Wanddicke, Schlankheitsgrad und Spannungen in der Bodenfuge der Wände unter Belastung $g + p$ für den Zeitpunkt $t = 0$ Minuten (Versuchsbeginn, Raumtemperatur 20°C) ersichtlich. Die Lagerung aller Wände war zweiseitig, die seitlichen Ränder konnten sich frei verformen.


Wand			d	λ	G_{Rand} auf d.d. Feuer		Stoß : 300-400 kpm			
Art	γ	G_d		h/d	zugel.	abgek. Seite	 Raumabschluß	bleibt	gewahrt	geht verloren
							Last	g+p	Last	g
		kp/dm ²	kp/cm ²	cm	-	kp/cm ²	1.-	2.-	3.-	4.-Stoß
bewehrte Montagewände aus	Dzv 0,6 / ~160	0,6	Z 147 B 160	11,5	19,3	0 22	400	-	-	-
	Dzv 0,9 / ~225	0,87	Z 248 B 160	16,5	12,9	0 30	400	400	400	400
					16,1					
	GSB 35 liegend	0,6	~40 ge- klebt	20	20	$G_{\text{infolge g}}$	-	-	300	300

Bild 7: Standfestigkeit 2-seitig gelagerter Wände n. 90 min Feuerbeanspruchung

Die in diesen Spalten 1 – 7 beschriebenen Wände wurden auf Feuerwiderstandsfähigkeit nach DIN 4102, Bl. 2, Ausgabe 1965 untersucht. Alle Versuchswände erfüllten – auch unter der angegebenen exzentrischen Belastung, vergl. Spannungswerte – alle Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F 90.

Nach den Brandversuchen wurde jede Wand einer viermaligen Stoßbeanspruchung durch Pendelstoß ausgesetzt, sofern die Versuchswände nicht vorzeitig ihren Raumabschluß verloren. Die Stöße Nr. 1 und 2 wurden bei Belastung $g + p$ mit den Spannungen nach Spalte 6 – 7 Bild 6 und 7 durchgeführt; die Stöße Nr. 3 und 4 wurden ausgelöst, wenn die Wände allein unter ihrem Eigengewicht g standen. Im Fall der unbelasteten Wand aus liegend angeordneten Gasbeton-Wandplatten wurden nur zwei Stöße ausgeübt. Die Stoßenergien betrugen 100 bis 400 kp m. In Teil III ist nachgewiesen, daß mit dem stoßenden Pendel in der angewandten Art reproduzierbare Beanspruchungen erzielt werden.

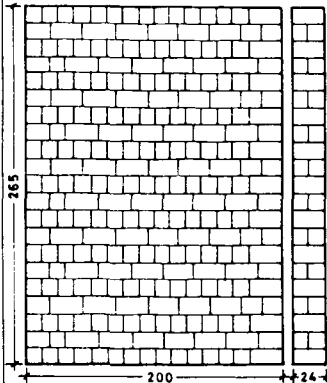
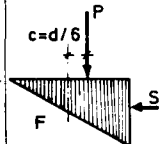
Aus Bild 6 und 7 ist ersichtlich, unter welcher Stoßbeanspruchung und bei welchem Stoß die einzelnen Wände ihren Raumabschluß verloren. Einzelheiten sind den Abschlußberichten Teil I und II zu entnehmen.

Eine Beurteilung, welche Wände in Zukunft nach den vorliegenden Versuchsergebnissen als „Brandwände“ errichtet werden dürfen, muß vom Arbeitsausschuß DIN 4102 entschieden werden.

Anhang: siehe Seite 39 – 44.

Lfd.Nr	Prüf-datum	Wandkonstruktion Schnitte, Details, Baustoffe	Wand-		Baust.	Lage-	S : Stoß p : Belastung $\sigma_R = \sigma_{Rand}$ Bodenfuge F : Feuerseite
			Dicke d	Schlank. λ			
		cm	cm	—	kp/dm ²		kp/m ; kp/cm ²
1.4	1968	<p>KSL 1.2/150 2 DF DIN 106 (G_d mittl. = 134 kp/cm² DIN 106) gemauert im Kreuzverband Mörtelgruppe II DIN 1053 Alter bei Prüfbeginn: 59 Tage zul $G = 10$ kp/cm² DIN 1053</p>	24	11	1.18	zwei-seitig	$\sigma_R = 0$ $\sigma_R = 12$
							S : 300 kpm

t	ΔT der abgek Seite		Verformungen f in Wandmitte u. Beobachtungen während der					
			Brandversuche		Stoßversuche Nr 1-4			
	max	\emptyset	f	Beobachtungen	Stoß	Last	f	Beobachtungen
min	grd	grd	mm	A Abplatzungen R Risse b Rissbreite [mm]	Nr	—	mm	A Absprengungen R Risse b Rissbreite [mm]
0 _{g+p}	0	0	0	R, senkr. Spannungsrisse a. d. abgek. Seite 15° - 60° b ~ 2 Wasserverdampfung 50° - 90°	1	g+p	11	Keine wesentlichen Veränderungen
30	2	2	12		2	g+p	12	A mehrerer KS-Schalen a. d. F-Seite bis zu 5cm Tiefe Wand federt Diagonalrisse
60	44	17	12		3	g	00	Zerstörung der Wandmitte Raumabschluß geht verloren
90	64	40	11		4	-	-	—
Restfestigkeit des Baustoffes in % bez a.d. Ausgangsfestigkeit : Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm :								unbekannt, Steine größtenteils zerstört
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl. 3 Ausgabe 1969 : -								

Lfd.Nr	Prüfdatum	Wandkonstruktion Schnitte, Details, Baustoffe	Wand-		Baust.	Lage-	S = Stoß p = Belastung $\sigma_R = \sigma_{\text{Rand}}$ Bodenfuge F = Feuersseite
			Dicke d	Schönk. λ			
		cm	cm	—	kp/dm ³		kp/m ; kp/cm ²
2.4	1968	<div><p>HLz A 1.2/150 11/2 NF DIN 105 (σ_4 mittl. = 169 kp/cm² DIN 105) gemauert im Kreuzverband Mörtelgruppe II DIN 1053 zul $\sigma_R = 10$ kp/cm² DIN 1053 Alter bei Prüfbeginn: 55 Tage</p></div>	24	11	1.20	zwei-seitig	<div><p>$\sigma_R = 0$ $\sigma_R = 12$</p><p>S : 300 kpm</p></div>

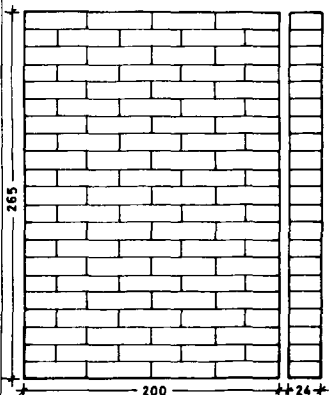
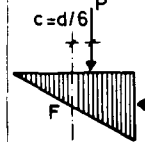
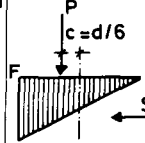
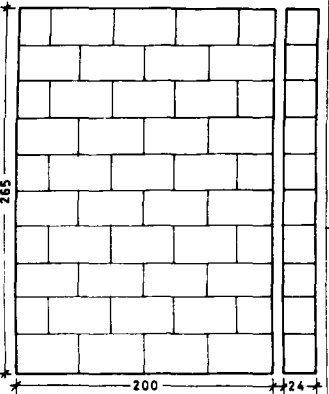
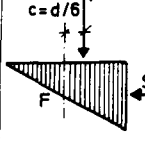
t	Δf der abgek. Seite		Verformungen in Wandmitte u. Beobachtungen während der									
	max	Ø	Brandversuche				Stoßversuche Nr 1-4					
			f	Beobachtungen			Stoß	Last	f	Beobachtungen		
min	grd.	grd.	mm	A Abplatzungen R Risse b Rissbreite [mm]			Nr	-	min	A Ausprägungen R Risse b Rissbreite [mm]		
Q _{5+p}	0	0	1	R, senkr. Spannungsrisse a d. abgek. Seite 10' - 76			1	g+p	11	Keine wesentlichen Veränderungen		
30	3	2	10	b ~ 1			2	g+p	12			
60	5	3	11				3	g	18	Wand federt A mehrerer Ziegeleinschalen Diagonalsrisse		
90	15	11	10				4	g	∞	Zerstörung der Wandmitte Raumabschluß geht verloren		

Restfestigkeit des Baustoffes in % bez a. d. Ausgangsfestigkeit : 90

Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm : ~2 außerhalb der zerstörten Bereiche

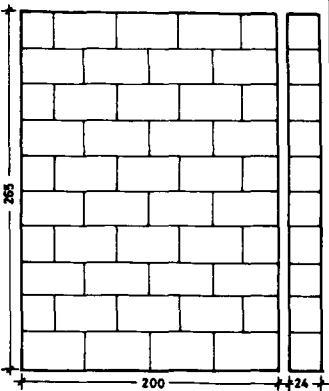
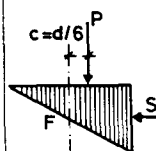
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl. 3 Ausgabe 1969 : "Brandwand"

Brandwände aus Betonbausteinen: Bimsbetonsteine

Lfd. Nr.	Prüf- datum	Wandkonstruktion Schnitte, Details, Baustoffe	Wand - Dicke d	Baust. Schlank. λ	Baust. Rohd. γ	Lage- rung	S = Stoß p = Belastung $\sigma_R = \sigma_{Rand}$ Bodenfuge F = Feuerseite
		cm	cm	-	kp/dm ³		kp/m ; kp/cm ²
3.1.1	1968	 <p>Naturbims-Vollsteine V 240x490x115/50/1.0 DIN 18152 Gemauert im Blockverband Mörtelgruppe II DIN 1053 zul $\sigma_R = 6 \text{ kp/cm}^2$ DIN 1053 σ_d mittl. bei Prüfbeginn: 56 kp/cm² Alter bei Prüfbeginn: 3.3.1: 41 Tage 3.3.2: 44 Tage Feuchtigkeitsgehalt bei Prüfbeginn: 11,5 %</p>	24	11	1.01	zwei-seitig	 <p>$c = d/6$</p> <p>$\sigma_R = 0$ $\sigma_R = 6$</p> <p>S : 300 kpm</p>
3.1.2							 <p>$c = d/6$</p> <p>$\sigma_R = 6$ $\sigma_R = 0$</p> <p>S : 200 kpm</p>
3.1.3	1968	 <p>Naturbims-Hohlblocksteine Hbl Zwk 240x490x238/50/1.0 DIN 18151 Gemauert im Blockverband Mörtelgruppe II DIN 1053 zul $\sigma_R = 6 \text{ kp/cm}^2$ DIN 1053 σ_d mittl. bei Prüfbeginn : 59 kp/cm² Alter bei Prüfbeginn : 48 Tage Feuchtigkeitsgehalt bei Prüfbeginn : 9,8 %</p>	24	11	0.94	zwei-seitig	 <p>$c = d/6$</p> <p>$\sigma_R = 0$ $\sigma_R = 6$</p> <p>S : 300 kpm</p>

t	ΔT der abgek. Seite		Verformungen f in Wandmitte u. Beobachtungen während der						
			Brandversuche			Stoßversuche Nr 1-4			
	max	σ	f	Beobachtungen		Stoß	Last	f	Beobachtungen
min	grd.	grd.	mm	A Abplatzungen R Risse b Rissbreite [mm]		Nr	-	mm	A Absprengungen R Risse b Rissbreite [mm]
0g+p	0	0	1			1	g+p	13	Wand federt, keine
30	3	2	3			2	g+p	13	wesentlichen Veränderungen
60	4	3	4			3	g	∞	gesamte Wand stürzt ein, Raumabschluß geht voll- kommen verloren
90	9	7	4			4	g	-	-
Restfestigkeit des Baustoffes in % bez a. d. Ausgangsfestigkeit : ~39									
Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm : 25 bis 30									
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl. 3 Ausgabe 1969 : -									
0g+p	0	0	-0.2			1	g+p	0	Keine wesentlichen
30	2	1	2			2	g+p	0	Veränderungen
60	4	2	2			3	g	30	vorwiegend waagerechte Fugen reißen und klaffen beim Stoß auf, Wand federt zurück, vereinzelt Diagonal- risse
90	16	8	-1			4	g	∞	gesamte Wand stürzt ein, Raumabschluß geht voll- kommen verloren
Restfestigkeit des Baustoffes in % bez a. d. Ausgangsfestigkeit : ~39									
Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm : 30 bis 35									
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl. 3 Ausgabe 1969 : -									
0g+p	0	0	1	R. senkr. Spannungsrisse a. d. abgek. Seite 10'		1*)	g+p	3	Wand federt, keine
30	1	0	2			2*)	g+p	15	wesentlichen Veränderungen
60	4	2	2			3	g	∞	gesamte Wand stürzt ein, Raumabschluß geht voll- kommen verloren
90	14	8	2			4	-	-	-
*) Stoß 1 und 2 wurden vor der Feuerbeanspru- chung durchgeführt									
Restfestigkeit des Baustoffes in % bez a. d. Ausgangsfestigkeit : ~37									
Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm : 20 bis 30									
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl. 3 Ausgabe 1969 : -									

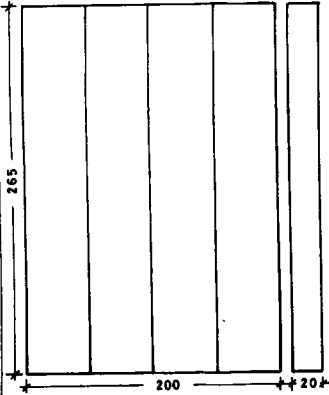
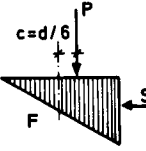
Brandwände aus Betonbausteinen: Gasbeton-Steine

Lfd. Nr	Prüf-datum	Wandkonstruktion Schnitte, Details, Baustoffe	Wand -		Baust. Rohd.	Lage-rung	S = Stoß p = Belastung σ_R = Rand Bodenfuge F = Feuerseite
			Dicke d	Schlan. λ			
		cm	cm	-	kp/dm ²		kp/m ; kp/cm ²
3.3.1.1	1968	 <p>Wandbausteine ~ GS 50 490x240x240 DIN 4165 (σ_R mittl. = 46 kp/cm² DIN 4165) Mörtelgruppe II DIN 1053 zul. σ_R = 6 kp/cm² DIN 1053 3.3.1.1 : 50 Tage Alter bei Prüfbeginn 3.3.1.2 : 57 " 3.3.1.1 : ~ 2.3 Gew % Feuchtigkeitsgehalt bei Prüfbeginn 3.3.1.2 : ~ 1.8 %</p> <p>S: 300 kpm</p>	24	11	0.68 bis 0.75	zwei- seitig	 <p>$\sigma_R = 0$ $\sigma_R = 6$</p> <p>S: 100 kpm</p>

t	ΔT der abgek. Seite	Verformungen f in Wandmitte u. Beobachtungen während der Brandversuche							
		Brandversuche				Stoßversuche Nr 1-4			
		max	ϕ	f	Beobachtungen A Abplatzungen R Risse b Rissbreite [mm]	Stoß Nr	Last -	f mm	Beobachtungen A Absprengungen R Risse b Rissbreite [mm]
min	grd.	grd.	mm						
0 _{g+p}	0	0	0			1	g+p	±0	Keine wesentlichen Veränderungen
30	2	1	1			2	g+p	±0	
60	4	3	0			3	g	∞	Zerstörung der Wandmitte Raumabschluß geht verloren
90	7	5	-1			4	-	-	
Restfestigkeit des Baustoffes in % bez a.d. Ausgangsfestigkeit : 92									
Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm : 16 - 18									
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl.3 Ausgabe 1969 : -									
0 _{g+p}	0	0	0			1	g+p	2	Keine wesentlichen Veränderungen
30	2	1	2			2	g+p	2	
60	4	3	2			3	g	60	Diagonallrisse, waagerechter Riss in der 4. Fuge von oben, Steine + Mörtelschicht scheitern von den darunter liegenden Steinen ganzflächig ab.
90	17	8	2			4	g	∞	weiteres Abscheren in den waagerechten Fugen, Zerstörung der Wandmitte Raumabschluß geht verloren
Restfestigkeit des Baustoffes in % bez a.d. Ausgangsfestigkeit : 90									
Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm : ~17									
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl.3 Ausgabe 1969 : -									

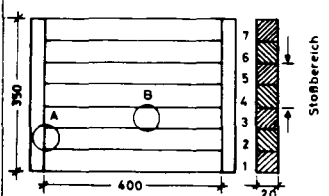
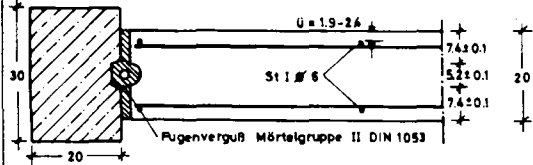
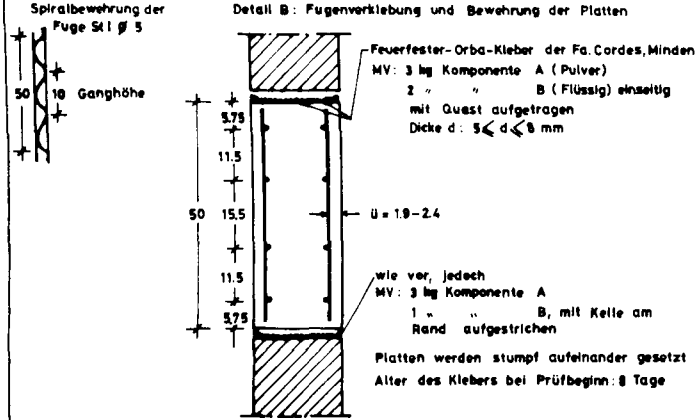
Brandwände aus Betonbausteinen : bewehrte Gasbeton-Wandplatten

Geschoßhoch gemäß Zulassungsbescheid

Lfd. Nr	Prüf- datum	Wandkonstruktion Schnitte, Details, Baustoffe	Wand -		Baust. Lage- rung	S = Stoß p = Belastung $\sigma_R = \sigma_{Rand}$ Bodenfuge F = Feuerseite
			Dicke d	Schleif λ		
		cm	cm	-	kp/dm ³	kp/m ; kp/cm ²
3.3.1968 2.1		 <p>Geschoßhohe Gasbeton-Wandplatten GSB 35 entspr. DIN 4223 und gemäß Zulassungsbescheid NRW vom 21.7.1964</p> <p>Ø 6, Fugenverguß Mörtelgruppe III DIN 1053 Feitungs = 2x3 = 6 Ø 6 St I je Platte, ü=25-31 Feuer = 2x4 = 8 Ø 6 St I je Platte (a ~ 87.5) zul $\sigma_d = 5 \text{ kp/cm}^2$ Alter bei Prüfbeginn: 41 Tage</p>	20	13.25	~ 0.6	zwei- seitig
						 <p>$\sigma_R = 0$ $\sigma_R = 5$</p> <p>S : 300 kpm</p>

t	ΔT der abgek. Seite		Verformungen f in Wandmitte u. Beobachtungen während der				Stoßversuche Nr 1-4			
			Brandversuche		Beobachtungen		Stoß		Last	
	max	ϕ	f		A Abplatzungen R Risse b Rissbreite (mm)		Nr	-	f	Beobachtungen A Absprengungen R Risse b Rissbreite (mm)
min	grd.	grd.	mm						mm	
0g+p	0	0	0				1	g+p	6	Keine wesentlichen Veränderungen
30	2	1	2				2	g+p	7	R, diagonal, geringfügig
60	4	3	5				3	g	80	R, diagonal, Raumabschluß ist voll gewahrt
90	5	4	6				4	g	~200	weitgehende Zerstörung im Stoßbereich, Raumabschluß geht in den Fugen verloren
Restfestigkeit des Baustoffes in % bez. a. d. Ausgangsfestigkeit . wurde nicht festgestellt										
Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm : 45 bis 50										
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl.3 Ausgabe 1969 : "Brandwand"										

Wände aus Betonbausteinen unter Brandwandbeanspruchung :
bewehrte Gasbeton-Wandplatten (liegend)

Lfd. Nr.	Prüf- datum	Wandkonstruktion Schnitte, Details, Baustoffe	Wand -		Baust.	Lage -	S = Stoß p = Belastung $\sigma_R = \sigma_{\text{Rand}}$ Bodenfuge F = Feuerseite
			Dicke d	Schärfe λ	Rohd. γ	run- g	
		cm	cm	-	kp/dm ³		kp/m ; kp/cm ²
3.3.1968 2.3		 <p>Liegende, nur durch Eigengewicht belastete, bewehrte Gasbeton-Wandplatten entspr. DIN 4223, GSB 35</p> <p>Detail A: Anschluß an Stahlbetonsäule und Bewehrung der Platten</p>  <p>Detail B: Fugenverklebung und Bewehrung der Platten</p>  <p>P=0 Belastung nur durch Eigengewicht g</p> <p>F</p> <p>S</p> <p>$\sigma_{\text{infolge g}}$</p> <p>S: 300 kpm</p>	20	20	~ 0.6	zwei- seitig	

t	ΔT der abgek. Seite		Verformungen f in Wandmitte u. Beobachtungen während der Brandversuche				Stoßversuche Nr 1-4			
	max	ϕ	f	Beobachtungen		Stoß		Last		Beobachtungen
	min	grd.	grd.	mm	A Abplatzungen R Risse b Rissbreite (mm)	Nr	-	mm		A Absprengungen R Risse b Rissbreite (mm)
0 _g	0	0	0	0		1	g	61		Die durch Stoß beanspruchten Platten 4 u 5 verformen sich geringfügig
30	0	0	4			2	g	~120		Platten 4 u 5 verformen sich weiter, die Fugen zwischen den Platten 3/4 und 5/6 scheren ab, teilweise im Fugen-Kleber, teilweise unmittelbar ober bzw. unterhalb des Klebers im Gasbeton.
60	0	0	9							Platten 4 u 5 brechen einseitig aus dem seitl. Anschluß heraus.
90	0	0	21							Mörtel teilweise abgeschert, Spiralbewehrung sichtbar, Gasbetonbewehrung teilw. herausgerissen, Raumabschluß geht in der Fuge und am Anschluß verloren
Restfestigkeit des Baustoffes in % bez. a.d. Ausgangsfestigkeit: 89										
Zermürbte Tiefe auf der Feuerseite in mm : 15-19										
Klassifizierung nach DIN 4102 Bl.3 Ausgabe 1969 : -										

Teil III

Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von Stoßbeanspruchungen durch Sackpendel

durchgeführt
im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau

von
Dr.-Ing. J. Steinert

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
der Technischen Universität Braunschweig

1. Veranlassung

In der Neufassung von DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“, Blatt 3 (Entwurf August 1965), wird in Abschnitt 2.2.2 von Brandwänden gefordert, daß diese bei dem anschließend an den 90-minütigen Brandversuch durchzuführenden Festigkeitsversuch ihre raumabschließende Funktion behalten. Der Festigkeitsversuch besteht in einer mehrfachen Stoßbeanspruchung der Prüfwand durch einen 200 kp schweren, mit Bleischrot gefüllten Sack, der als Pendelmasse eines 2 bis 3 m langen Pendels dient. Die Stoßarbeit soll 300 kpm auf einer Fläche in Wandmitte von etwa 4 dm² betragen.

Bei Meyer-Ottens und Bub [1] können die Gründe für die Einführung einer Prüfung der Stand- und Materialfestigkeit von Brandwänden durch Stoßbeanspruchung, die Handhabung dieser Prüfung nach vergleichbaren ausländischen Vorschriften sowie die Ergebnisse von Stoß-Vorversuchen an Brandwänden, die zum Entwurf von Blatt 3, August 1965, führten, nachgelesen werden. Um in allen Prüfanstalten zu vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, wurde vorgeschlagen, die Pendel an einer genormten Wand durch Messungen von Impuls und Rückprallenergie nach dem Stoß zu definieren und die Reproduzierbarkeit von Stoßbeanspruchungen an einer elastischen „Wand“ aus Stahlträgern zu ermitteln.

Derartige Untersuchungen wurden inzwischen durchgeführt und damit der Nachweis erbracht, daß die Stoßfestigkeitsprüfung mit einem Bleisackpendel reproduzierbare Werte für die Stoßkraft liefert und daher ein für die amtliche Materialprüfung geeignetes Prüfverfahren darstellt.

2. Einleitung

In der Praxis muß nach vorausgegangenem Brand mit stoßartigen Belastungen von Brandwänden gerechnet werden, wenn der Einsturz von Bauteilen, z.B. Dachpfetten, in Richtung der feuerbeanspruchten Wände erfolgt. Die hierbei freiwerdende Stoßenergie kann zwischen 100 kpm und 1250 kpm liegen [1,2]. Im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der TU Braunschweig durchgeführte Stoßversuche mit 400 kpm Energie – d.h. mit einem 200 kp schweren Pendel, das sich in seiner Anfangslage 2,0 m über der Stoßstelle befindet – verursachten einen Verlust des Raumabschlusses bei einigen, derzeit als Brandwand zugelassenen Konstruktionen. Daher wurde die Stoßbelastung zunächst reduziert und im Entwurf von DIN 4102, Blatt 3, auf 300 kpm festgesetzt.

Der Pendelschlag ist das einfachste Verfahren zur Erzeugung einer Stoßbeanspruchung. Sein größter Vorteil besteht in der einfachen Kennzeichnung des Pendels durch die Geschwindigkeit im Moment des Stoßes und die Pendelmasse. Für die Stoßbeanspruchung ist jedoch ausschließlich je nach dem Verhältnis von Stoß- zu Eigenschwingdauer die Stoßkraft oder der Impuls maßgebend, von denen die maximale Baustoffverformung bzw. -spannung abhängt. Die Beanspruchung eines gestoßenen Bau-

teils kann aufgrund komplizierter theoretischer Beziehungen nur unter einschneidenden Annahmen berechnet werden; die Übereinstimmung zwischen Meß- und Rechenwerten ist meistens, und zwar auch bei elastisch beanspruchten Systemen, unbefriedigend.

Zusätzliche Schwierigkeiten müssen erwartet werden, wenn es sich um ein Pendel aus einer plastischen Masse handelt, die sich beim Stoß – und zwar je nach Anpralllast in verschiedener Stärke – verformt. Bei größeren Stoßenergien besteht außerdem die Gefahr des Durchstanzens bzw. -lochens der Prüfwand, insbesondere bei einer gemauerten Wand aus kleinformatischen Steinen.

Im gegebenen Anwendungsfall soll durch den Stoßversuch zwischen Wänden unterschieden werden, die einen Raumabschluß bewahren und solchen, die ihn durch ihre Zerstörung verlieren. Es handelt sich also hinsichtlich der Prüfwand grundsätzlich um eine Prüfung im unelastischen Bereich der Baustoffelastizität. Da der Kraftzeitverlauf beim Stoß sowohl von den elastischen Eigenschaften des stoßenden als auch des gestoßenen Körpers abhängt, wäre es kein wesentlicher Vorteil als Stoßkörper ein Feder-Masse-System zu wählen, das bei elastischem Stoß die Vorteile der ohne besonderen Nachweis vorhandenen Reproduzierbarkeit und leichten Veränderbarkeit besitzt.

Die einfache Handhabung und die Ähnlichkeit mit einer Stoßbelastung im realen Schadensfall haben dazu geführt, die Stoßfestigkeit mit Sackpendeln zu prüfen. Dabei muß jedoch gewährleistet sein, daß

1. die Beanspruchung bei aufeinanderfolgenden Stößen auf ein und dieselbe Versuchswand reproduzierbar ist und
2. die Beanspruchung nicht von den Ergebnissen vorausgegangener Prüfungen an Wänden anderer Steifigkeit abhängt.

Dem Nachweis dieser beiden Voraussetzungen galten die nachfolgend beschriebenen Versuche an einer Stahlstütze, über deren Grundlagen, Durchführung und Ergebnisse berichtet wird.

3. Theoretische Grundlagen

Die bekannteste Gleichung für einen durch Stoß biegebeanspruchten Träger geht auf Timoshenko zurück und wurde von Zschetsche verbessert, siehe z.B. [6]. In Anlehnung an Szabó gilt für die Stoßkraft P_{\max} einer mittig belasteten Stütze:

$$3.1) \quad P_{\max} = c \cdot w_{\max} = m_1 \sqrt{c \cdot v_1^2 \frac{m_1 + \kappa' m_0}{(m_1 + \kappa' m_0)^2}},$$

$$\text{wobei} \quad \kappa' = \frac{1}{L} \int_0^L f(x) dx \quad \text{und} \quad \kappa'' = \frac{1}{L} \int_0^L f^2(x) dx$$

Verteilungsfunktionen sind, die die mitschwingende Trägermasse m_0 als eine punktförmige Ersatzmasse zu berücksichtigen gestatten. Für $f(x)$ wird üblicherweise die statische Biegelinie unter einer Einzelkraft verwendet, w_{\max} ist die Einfederung des Trägers unter dem mit der Geschwindigkeit v_1 erfolgenden Stoß.

Die Gleichung (3.1) gilt, wenn die Masse m_1 größer als die Trägermasse m_0 ist. Dann bewegt sich die Pendelmasse m_1 mit dem Träger gemeinsam, zumindest solange bis die Kompressionsperiode abgeschlossen ist.

Die Gültigkeit dieser Beziehung wurde auch für das untersuchte Sackpendel geprüft, da ein Rückprall praktisch überhaupt nicht auftritt und der Sekundärschlag erst jeweils nach 1,65 s erfolgt, also nach der 4-fachen Fallzeit des Pendels.

Gleichung (3.1) kann auf den entsprechenden Ausdruck für Schwinger mit nur einem Freiheitsgrad gebracht werden, indem man die mitschwingende Trägermasse und die Pendelmasse nach dem Stoß zu einer einzigen „gestoßenen Ersatzmasse M “ zusammenfaßt:

$$(3.2) \quad P_{\max} = m_1 v_1 \sqrt{\frac{c}{M}} = I \omega_E,$$

hierbei ist: $I = m_1 v_1$ der Impuls des stoßenden Pendels und

$\omega_E = \sqrt{\frac{c}{M}}$ die sich aus Federkennwert c und Ersatzmasse M ergebende „Eigenkreisfrequenz“.

Beispielsweise erhält man für eine beidseitig gelenkig gelagerte Stütze:

$$(3.3) \quad c = \frac{P}{\delta} = 48 \frac{B}{L^3} \text{ und } M = m_0 \frac{\left(\kappa' + \frac{m_1}{m_0}\right)^2}{\kappa'' + \frac{m_1}{m_0}} = m_0 \frac{\left(\frac{5}{8} + \frac{m_1}{m_0}\right)^2}{\frac{17}{35} + \frac{m_1}{m_0}}.$$

Es ist bekannt, daß ein ungedämpftes System mit einem Freiheitsgrad, beschrieben durch die Differentialgleichung

$$(3.4) \quad m\ddot{w} + cw = P(t),$$

auf eine Impulsbeanspruchung $P(t)$ unterschiedlich reagiert [3, 4]. Das zeitliche Ansprechen eines solchen Systems hängt ab

1. von der Impulsfunktion $P(t)$

2. vom Produkt aus Systemeigenfrequenz f und Impulsdauer T .

So erhält man z.B. für eine Beanspruchung mit einer Halbsinus-Impulsfunktion

$$P(t) = A \sin \pi \frac{t}{T} \text{ mit } 0 < t < T, \text{ der ein Impuls}$$

$$(3.5) \quad I = \int_0^T A \sin \pi \frac{t}{T} dt = 2 \frac{AT}{\pi} \text{ entspricht,}$$

die Amplitudenfunktion für die Kraft $F(t)$:

$$(3.6) \quad F(t) = \begin{cases} \frac{A}{\pi} \left(\frac{\omega T}{\pi} \sin \frac{\pi}{T} t - \sin \omega t \right) & t < T \\ -\frac{A}{\pi} \left(\sin \omega t + \sin \omega (t-T) \right) & t > T \end{cases}$$

Daher gilt näherungsweise:

$$(3.7) \quad \begin{array}{c|c} \frac{\omega T}{\pi} \gg 1: & \frac{\omega T}{\pi} \ll 1: \\ \hline t < T: & F(t) = \begin{cases} A \sin \frac{\pi}{T} t = \frac{\pi}{T} \sin \frac{\pi}{T} t & A \frac{\omega T}{\pi} \sin \omega t = \frac{I \omega}{2} \sin \omega t \\ \rightarrow 0 & I \omega \sin \omega t \end{cases} \\ t > T: & \end{array}$$

Die bekannten Schlußfolgerungen aus diesen Gleichungen u.ä. für andere Impulsfunktionen $P(t)$ lauten:

1. Soll ein unbekannter Impulsverlauf ermittelt werden, so ist hierzu ein schwingungsfähiges Meßsystem mit hoher Grenzfrequenz erforderlich.
2. Wird ein schwingungsfähiges System mit einem Impuls belastet, dessen Dauer kurz im Vergleich zur Eigenperiode des Systems ist, dann führt das System Eigenschwingungen mit einer Amplitude aus, die nur vom Impuls jedoch nicht vom Belastungsverlauf, d.h. der Impulsfunktion, abhängen. Man erhält demnach bei kurzer Stoßdauer, vgl. Gleichung (3.2):

$$\text{die Maximalkraft } P_{\max} \left(t = \frac{\pi}{2\omega} \right) = I \omega \text{ zur Zeit } t_0 = \frac{\pi}{2\omega} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{M}{c}}$$

$$\text{mit der größten Federzusammendrückung } w_{\max} = \frac{I}{\sqrt{Mc}} = v_0 \sqrt{\frac{M}{c}}$$

Für eine längere Beanspruchung, $T > \frac{2\pi}{\omega}$, können dagegen die interessierenden Größen, z.B. P_{\max} , aus dem gegebenen Impuls, z.B. dem Halbsinusimpuls, entnommen werden, da die „Impuls-Antwort“ ein genaues Abbild der Impulsfunktionen darstellt.

Eine uneingeschränkt exakte Behandlung des Stoßproblems ist auch für den einfachen Fall eines beidseitig gelenkig gelagerten Trägers schwierig, weil der Träger nicht sofort in seiner vollen Länge beansprucht wird, sondern zunächst eine örtliche Verformung an der Stoßstelle auftritt, die – entsprechend der Hertzschen Theorie –

Tabelle 1

Zusammenstellung der Stützen- und Pendelabmessungen und berechneter Größen

Größe	Symbol bzw. Gleichung	Rechenwert	Einheit
A Trägerprofil		3 x I PE 220	–
Stützweite	l	390	cm
Trägheitsmoment	I_{ges}	8310	cm ⁴
Widerstandsmoment	W	756	cm ³
Querschnittsfläche	F	100,2	cm ²
Trägermasse pro Meter	$\frac{m_0}{l}$	78,6	kg/m
B Pendelmasse	m_1	200	kg
Fallhöhe, lt. DIN 4102, Blatt 2	h	150	cm
Stoßgeschwindigkeit	v	542,5	cm/s
Impuls	$I = m_1 v$	110,6	kps
Stoßenergie	$E = m_1 g h$	300	kpm
C Federkennwert	$c = \frac{P}{\delta} = 48 \frac{B}{L^3}$	14,12	Np/cm
Mitteldurchbiegung pro Lasteneinheit	$w\left(\frac{\pi}{2}\right) = \delta = \frac{1}{c}$	0,0708	cm/Np
Eigenfrequenz	$f_0 = \frac{\pi}{2\pi T} \sqrt{\frac{c}{m_0}}$	48,17	Hz
D Ersatzmasse	$M = \frac{\left(m_1 + \frac{5}{8} m_0\right)^2}{m_1 + \frac{17}{35} m_0}$	439,5	kg
max. Stoßkraft	$P_{\max} = v m_1 \sqrt{\frac{c}{M}}$	19,27	Np
Stoßdauer	$T = \pi \sqrt{\frac{M}{c}}$	19,55	ms
max. Mitteldurchbiegung	$\delta = \frac{P_{\max}}{c}$	1,36	cm
E Radius der Pendel-Stoßfläche	R_p	100 ± 50	cm
Elastizitätsmodul der Pendelmasse, geschätzt	E_p	10 ⁴ ... 10 ⁵	kp/cm ²
max. Stoßkraft	$P(m_1, m_0, v, a) \text{ n.Gl. (3.8)}$	3 ... 97	Np
max. Stoßdauer	$T(m_1, m_0, v, a)$	17,5 ... 54,3	ms

wesentlich von Form und elastischen Eigenschaften des stoßenden Körpers beeinflußt wird. Die Folge davon ist, daß zunächst keine zeitliche Übereinstimmung zwischen dem Maximum der Verformung und dem Maximum der Träger-Durchbiegung an der Stoßstelle besteht. Diese Diskrepanz wird umso größer, je härter der Stoß erfolgt, d.h. je stärker die anfangs örtliche Verformung ist.

Eine Abschätzung der maximalen Stoßkraft und der Stoßdauer an der Stoßstelle („lokaler Effekt“) ist anhand der Hertzschen Stoßtheorie möglich. Die Theorie setzt ungebundene Körper voraus; eine Anwendung kann hier nur für $m_0 \ddot{x} \gg c_0 \dot{x} = \omega_0^2 m_0 x$ gelten, d.h. wenn die Stoßdauer kurz gegen die Eigenschwingdauer ist.

Nach Szabó [7] gilt für

$$\begin{aligned} \text{die max. Stoßkraft } P_{\max} &= \left[\frac{5}{4} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \frac{v_1^2}{\alpha} \right]^{3/5} \\ (3.8) \quad \text{und die Stoßdauer } T &= 2,94 \left[\frac{25}{16} \frac{\alpha^3}{v_1} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 \right]^{1/5} \end{aligned}$$

mit der von Abmessungen und Material abhängigen Konstanten α .

4. Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung der Stoßwirkung der bleischrotgefüllten Sackpendel und ihrer Reproduzierbarkeit wurde eine Stahlstütze aus 3 miteinander verschweißten Trägern I PE 220 verwendet, vgl. Tabelle 1. Die Stahlkonstruktion hat gegenüber einer Betonwand den Vorteil, daß sie beliebig oft als Eichnormal verwendet werden kann, ohne daß zeitabhängige Veränderungen der Festigkeitseigenschaften zu befürchten sind.

Der Federkennwert der Versuchsstütze liegt etwa im Bereich wichtiger Brandwände, wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist. Dabei ist zu bedenken, daß Brand-Versuchswände zweiseitig gelagert werden und außerdem, daß gemauerte Wände besonders stoßempfindlich sind.

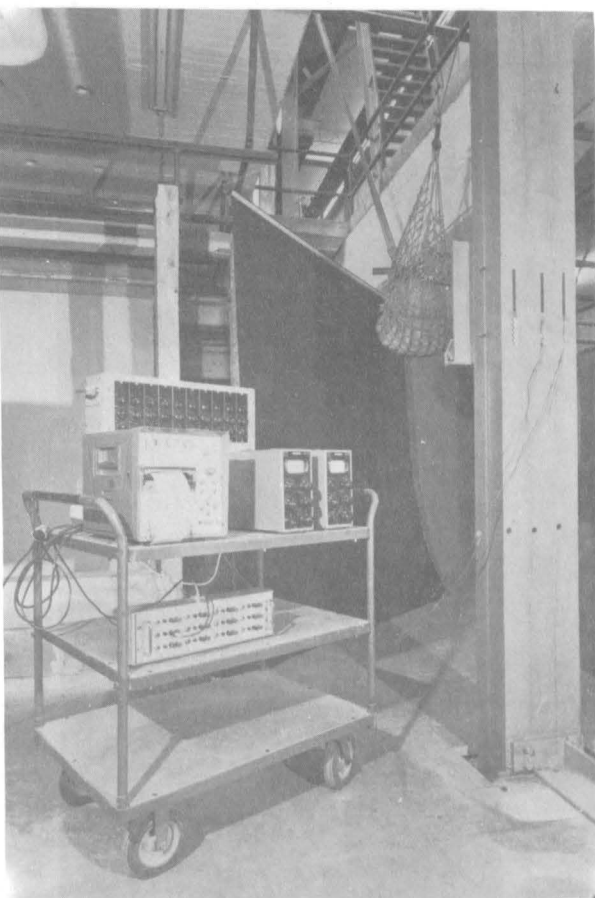


Bild 1: Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung ist in Bild 1 und 2 dargestellt. Die Pendelmasse befindet sich in einem Netz aus 4/5 mm dickem Stahlseil mit etwa 50 mm Maschenweite in einem Sack aus Hopfentuch, Qualität HT 1800. Die Füllung des Sackes besteht aus Bleischrot – Durchmesser

Tabelle 2

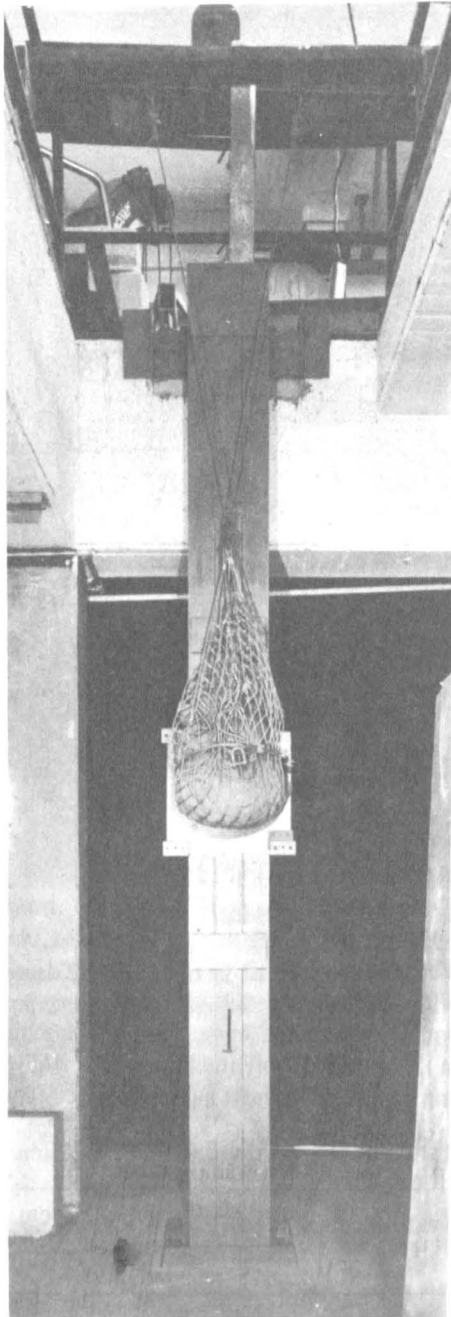
Steifigkeit von Versuchs-Brandwänden aus verschiedenen Baustoffen

Baustoff	Elastizitätsmodul ^{+) in kp/cm²}	Dicke in cm	Federkennwerte c in Mp/cm	
			gestützter Balken	∞-langer Plattenstreifen
unbewehrter Beton	2,5 · 10 ⁵	20	85,9	237
Kalksandsteine	7,5 · 10 ⁴	24	44,6	123
Ziegelmauerwerk	1,7 · 10 ⁴ ++)	24	10,1	27,9
Gasbeton, R 600	1,1 · 10 ⁴	24	6,54	18,5
Versuchsstütze	2,1 · 10 ⁶	22	14,12	

Für die Berechnung der Federkennwerte wurden die Abmessungen der Versuchswände für das Wand-Brandhaus im Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der TU Braunschweig zugrunde gelegt; Höhe 265 cm, Breite 200 cm.

^{+) Bei den herkömmlichen Baustoffen ist der dynamische Elastizitätsmodul etwa 30 % größer als der angegebene statische Modul.}

^{++) Wert für eine mit Kalkmörtel errichtete Ziegelmauer [8].}



der Schrotkugeln 2 – 3 mm – das in Leinensäcken zu je 10 kp abgefüllt ist.

Vor jedem Stoß wurde das Pendel ausgelenkt, in dem es mit einem Flaschenzug bis zu der durch die gewünschte Stoßenergie festgelegten Höhe gezogen wurde. Die erforderliche, mit dem Zollstock ermittelte Höhendifferenz ist wegen des nur annähernd genau bestimmbar Pendel-Schwerpunktes mit einer Unsicherheit von etwa ± 2 cm behaftet. Das ausgelenkte Pendel kann mit einer speziellen Ausklinkvorrichtung ruckfrei ausgelöst werden.

Die Stoßbeanspruchung wurde als Biege-Verformung auf der Zugseite in Stützenmitte mit Dehnungsmeßstreifen, die jeweils auf den 3 Trägern aufgebracht waren, gemessen. Die Meßapparatur bestand aus einer dynamischen

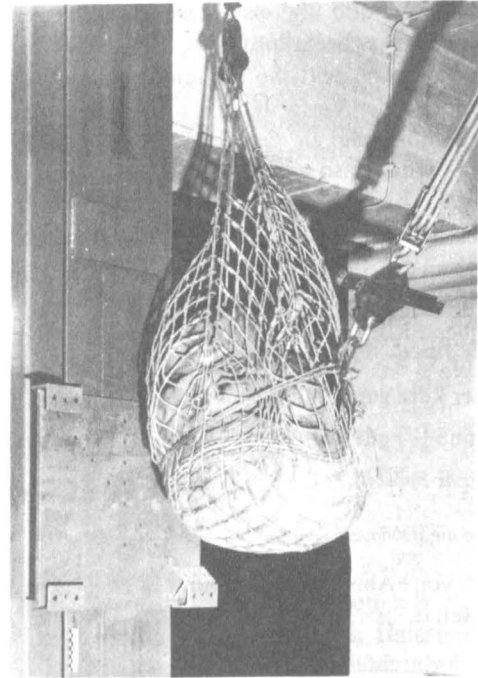


Bild 2:

Detail 1
oberes Stützenende mit Bleisackaufhängung

Detail 2
ruckfreie Ausklinkvorrichtung – Versuchsstütze mit lastverteilendem „Prallteller“

„Brandau“-Meßbrücke mit Meßstellenumschalter und einem Schleifenoszillografen. Wie durch Zusatzuntersuchungen festgestellt wurde, lag die maximale Flankensteilheit vielfach höher als die der registrierten Impulskurven. Die wesentliche Frequenz zur Charakterisierung des Stoßverhaltens ist somit die Eigenfrequenz der Stütze.

Insgesamt wurden 8 Versuchsreihen mit der in Tabelle 3 angegebenen Zielsetzung durchgeführt. Dabei ist zur Zielsetzung und Durchführung der einzelnen Untersuchungen folgendes zu bemerken:

Zu 1. Zur Prüfung der Reproduzierbarkeit wurde die Stütze zahlreichen Stößen mit konstanter Energie ausgesetzt, deren Wirkung registriert und anschließend hinsichtlich Impulshöhe, Impulsfläche und Impulsdauer statistisch ausgewertet wurden. Bei der Impulshöhe und -fläche wurden der Kraftkurve überlagerte Schwingungen kleiner Amplitude nicht ausgeglichen.

Genauere Hinweise zur Darstellung der Meßergebnisse sind in Abschnitt 5 zu finden.

Zu 2. Durch Änderung der Fallhöhe kann ein Zusammenhang zwischen Stoßkraft P_{\max} und Stoßenergie $E = mgh$ für ein gegebenes System „Pendel-Prüfwand“ ermittelt werden.

Tabelle 3
Versuchsprogramm

Reihe	Versuchsziel	Stoßenergie in kpm	Anzahl der Stöße
a)	Voruntersuchungen	326	19
b)	1. Reproduzierbarkeit	326	9
+) c)	2. Einfluß der Stoßenergie und Verbesserung gegen b)	100/300	15/5
d)	Reproduzierbarkeit und Einfluß der Stoßenergie	100/200/300	1/12/3
e)	3. Messung der Eigenfrequenz und Reproduzierbarkeit	100/200/300/-	1/1/3/-
f)	4. Einfluß vorangegangener Stöße auf den Impulsverlauf und die Reproduzierbarkeit	100/200/300/400	4/3/7/3
g)	5. Einfluß elastischer Zwischenlagen	100/200/300/400	3/3/7/3
h)	Wiederholung f), Einfluß des Registriersystems	100/200/300/400	4/3/9/3

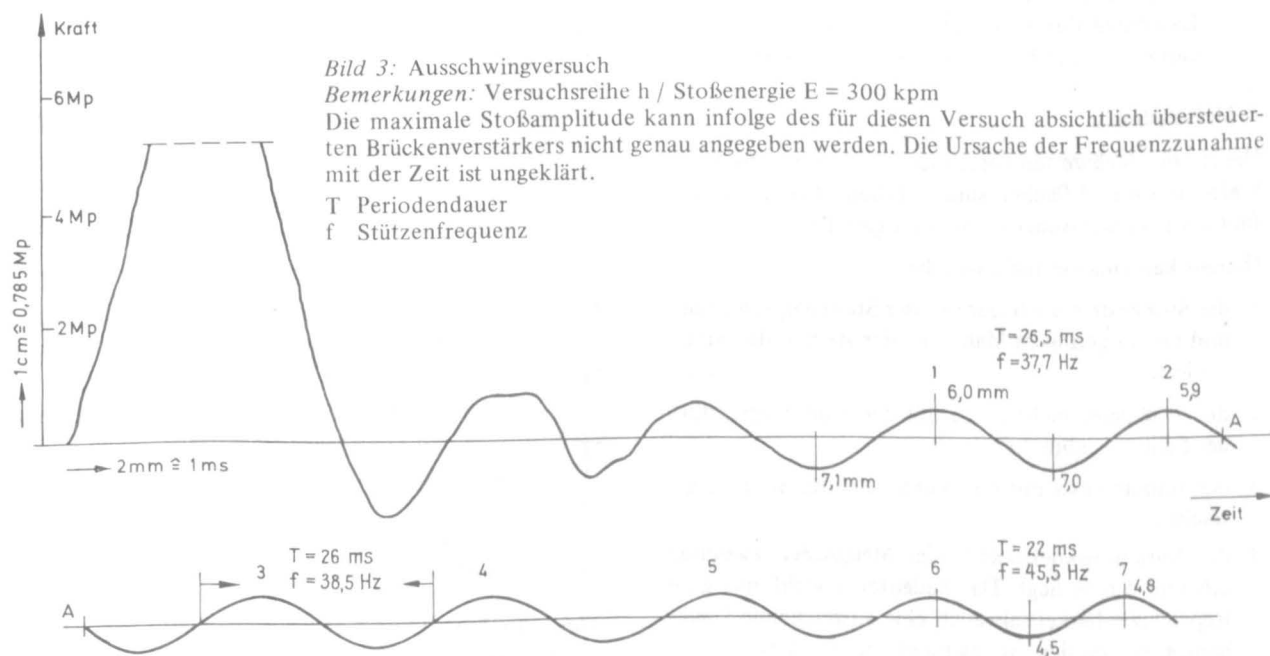
+) Nach Auswertung der Versuchsreihe b) stellte sich heraus, daß die drei Träger der Stütze beim Stoß jeweils reproduzierbar ungleichmäßig belastet wurden. Deshalb wurde die Aufhängevorrichtung umkonstruiert und die Versuche neu begonnen. Außerdem wurde erstmals das die Pendelmasse umhüllende Stahlnetz mit verwendet.

Zu 3. Die Eigenfrequenz ist proportional der Wurzel aus der Biegesteifigkeit, die rechnerisch unter der Voraussetzung bekannter Randbedingungen genau bestimmt werden kann. Daher ist die Messung der Stützen-Eigenfrequenz ein wichtiger Kontrollversuch für die Richtigkeit der Rechnungsannahmen.

Es ergab sich bei den Messungen eine Eigenfrequenz f_0 von 24 Hz, während unter der Annahme eines zweiseitig gelagerten Trägers $f_0 \approx 48$ Hz errechnet

worden war. Durch Messung der Schwingungsform und nachfolgende Berechnung der Frequenz mit dem Rayleighschen Energieverfahren aus der Schwingungsform wurde nachgewiesen, daß bei der stehenden Stütze das Lagerspiel – insbesondere am oberen Ende – die Ursache für diese Frequenzverkleinerung darstellt.

Daher wurde bei Reihe h versucht, das Lagerspiel der Stützenenden durch angeschraubte, in Beton



verankerte Quertraversen zu verringern, siehe Bild 1 unten. Es ergab sich damit etwa eine Verdoppelung der Eigenfrequenz auf $f_0 = 46$ Hz, wie durch einen Ausschwingversuch festgestellt wurde, vgl. Bild 3.

Zu 4. Als ein wichtiges Versuchsziel war einleitend die Prüfung der Stoßkraft als Funktion vorangegangener Stoßbeanspruchungen genannt worden. Daher wurden bei Reihe f und h je 15 Stöße in folgender willkürlicher Reihenfolge hinsichtlich der Stoßenergie untersucht.

Stoß-Nr.	Energie in kpm	Stoß-Nr.	Energie in kpm	Stoß-Nr.	Energie in kpm
1	100	6	200	11	200
2	200	7	100	12	300
3	300	8	300	13	400
4	100	9	400	14	300
5	400	10	100	15	300

Jede Stoßenergie zwischen 100 und 400 kp wurde also mindestens dreimal aufgebracht. Durch die Verwendung verschiedener Stoßenergien, die zu unterschiedlichen Anpralllasten führen, sollte bei diesem Versuch zugleich die Beanspruchung unter konstanter Stoßenergie von beliebigen, jedoch in ihrer Steifigkeit unterschiedlichen Wänden, simuliert werden.

Zu 5. Mit der speziellen Versuchsreihe g wurde das Ziel verfolgt, das Federungsvermögen der Stütze zu ändern. Hierzu wurde ein weiterer „Prallteller“ mit einer 20 mm dicken Schaumgummischicht derselben Steifigkeit wie sie die Stütze besitzen sollte, vor der Aufprallfläche befestigt. Die Versuche ergaben jedoch keine wesentliche Änderung der Stoßkräfte gegenüber der bisherigen Anordnung, so daß die Möglichkeit, die Steifigkeit der Eichstütze durch einfache Zusatzvorrichtungen zu variieren, zunächst negativ beurteilt werden muß.

5. Meßergebnisse

Die aus den Meßwerten berechneten Impulsdauern, Stoßkräfte und Impulsflächen sind in Tabelle 4 zusammengefaßt sowie in den Bildern 4 bis 9 dargestellt.

Hieraus kann man entnehmen, daß

1. die Stoßkraft etwa linear mit der Stoßenergie ansteigt und nur in geringem Maße mit der Anzahl der Stöße variiert,
2. die Stoßdauer nicht linear mit der Stoßenergie, d.h. der Fallhöhe, abnimmt,
3. der Impuls etwa mit der Wurzel aus der Stoßenergie wächst,
4. der Variationskoeffizient aller Meßgrößen zwischen 2,6 und 5,6 % liegt. Das bedeutet sowohl eine gute Reproduzierbarkeit als auch eine ausreichende Unabhängigkeit von der Vorgeschichte des Pendels.

In Bild 4 sind willkürlich herausgegriffene Kraft-Zeit-Funktionen für Stöße unterschiedlicher Energie aus verschiedenen Meßreihen übereinander gezeichnet. Die Ähnlichkeit der Kurven, besonders für die höheren Stoßenergien, ist augenfällig. Die unterschiedlichen Maximalwerte sind durch verschiedene Verstärkungsfaktoren bzw. durch voneinander abweichende Breiten des Registrierpapiers bedingt. Deshalb wurden zum besseren Vergleich aus verschiedenen Meßreihen stammende ausgewählte Impulsfunktionen auf einen einzigen Verstärkungsfaktor um-

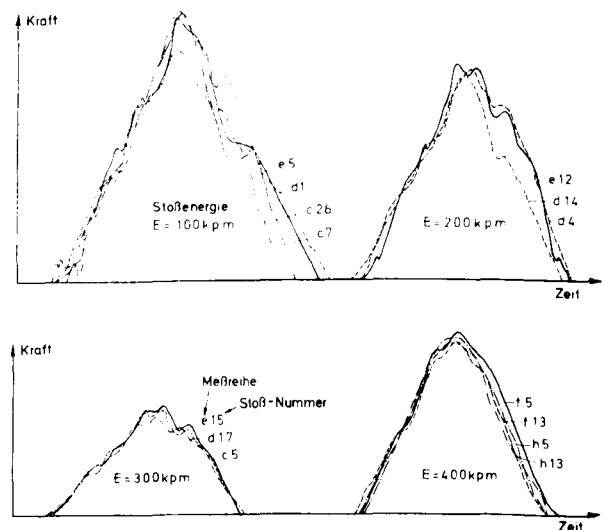


Bild 4: Beispiele für Impulsfunktionen verschiedener Versuchsreihen

Bemerkung: Der Ordinatenmaßstab ist bei gleichen Energien konstant, jedoch für die verschiedenen Stoßenergien unterschiedlich.

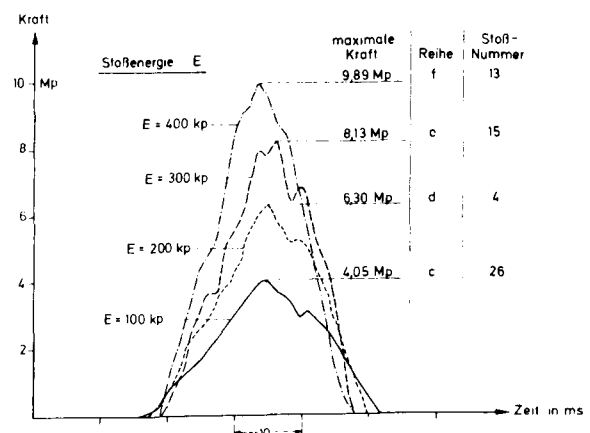


Bild 5: Impulsfunktionen unterschiedlicher Stoßenergie, auf einheitlichen Kraftmaßstab umgerechnet.

Tabelle 4
Meßergebnisse

Stoß- energie E	Meß- größe	Stoß- anzahl N	Mittel- wert \bar{x}	Standard- abweichung s	Variations- koeffizient V	Vertrauens- bereich 95
A: für die Gesamtstütze						
100	T	15	35,74	1,93	0,054	2,39
200	T	12	31,00	0,94	0,030	1,49
300	T	15	29,82	1,67	0,056	2,08
326	T	24	27,05	0,70	0,026	0,58
100	P _{max}	15	4,11	0,13	0,032	0,16
200	P _{max}	12	5,96	0,28	0,047	0,45
300	P _{max}	15	7,69	0,40	0,052	0,49
326	P _{max}	24	8,85	0,37	0,042	0,31
100	I	15	73,24	2,29	0,031	2,84
200	I	12	99,00	4,24	0,043	6,74
300	I	15	126,80	5,50	0,043	6,83
326	I	24	123,63	5,37	0,043	4,50
B: für den mittleren Träger der Stütze						
100	T	15	45,57	10,43	0,229	5,79
200	T	10	34,29	4,18	0,122	2,99
300	T	16	30,46	2,27	0,075	1,21
326	T	12	25,38	1,21	0,048	0,77
400	T	6	28,48	1,02	0,036	1,07
100	P _{max}	15	3,54	0,64	0,180	0,35
200	P _{max}	10	5,94	0,32	0,055	0,23
300	P _{max}	17	8,10	0,53	0,065	0,27
326	P _{max}	12	9,00	0,35	0,039	0,22
400	P _{max}	6	10,03	0,30	0,030	0,31

Erläuterungen:

- N Gesamtzahl der Stöße, deren Wirkung als Kraft P_{max} in Mp, Dauer T in ms und Impuls I in kps nacheinander auf den Trägern a bis c gemessen wurde. Als Meßwert für die Beanspruchung der gesamten Stütze wurden jeweils die Mittelwerte für drei aufeinanderfolgende Stöße verwendet und statistisch ausgewertet.
- s Die Standardabweichung oder mittlere quadratische Abweichung ergibt sich aus

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}; x_i \text{ Einzelwerte für } i = 1 \dots N$$

- V Der Variationskoeffizient = s/\bar{x} ermöglicht die Meßunsicherheit von Stößen mit verschiedenen Mittelwerten zu vergleichen.
- 95 Der Vertrauensbereich = ts/\sqrt{N} gibt bei Verwendung des entsprechenden Koeffizienten t₉₅ [5] die Grenzen an, zwischen denen der Mittelwert mit 95 % Sicherheit liegt. Durch eine Vergrößerung der Anzahl N könnte der Vertrauensbereich noch eingengt werden.

gerechnet und in Bild 5 aufgetragen. Man erkennt bereits hier, daß die maximale Stoßkraft mit der Energie etwas weniger als linear zunimmt. Dieses Ergebnis wird durch die vollständige Auswertung bestätigt, vgl. Bild 6. Aufgrund dieses Zusammenhanges kann die maximale Stoßkraft leicht durch Vorgabe einer entsprechenden Fallhöhe variiert werden.

Die Stützendurchbiegung unter dem Stoß wurde nicht gemessen. Daher kann sie nur angenähert, aufgrund spezieller Annahmen angegeben werden; z.B. als $\delta = \frac{P}{c}$ gemäß Gleichung (3.3).

Die Annahmen der Hertzschen Theorie sind hier noch erfüllt, wie die folgende Überlegung zeigt: Nach Gleichung (3.8) ist die Größe

$$K = \frac{P_{\max}^{2/3}}{\sqrt{T}}$$

eine von Form und Material der stoßenden Körper abhängiger Parameter, für ein gegebenes System also eine Konstante. Aus den in Tabelle 4 angegebenen Werten errechnet man für K:

$$\begin{array}{cccccc} E = & 100 & 200 & 300 & 400 & 326 \text{ kpm} \\ K = & 2,30 & 2,40 & 2,40 & (2,41)+ & 2,77 \end{array}$$

+) Wert durch Umrechnung erhalten, vgl. Tabelle 4 B.

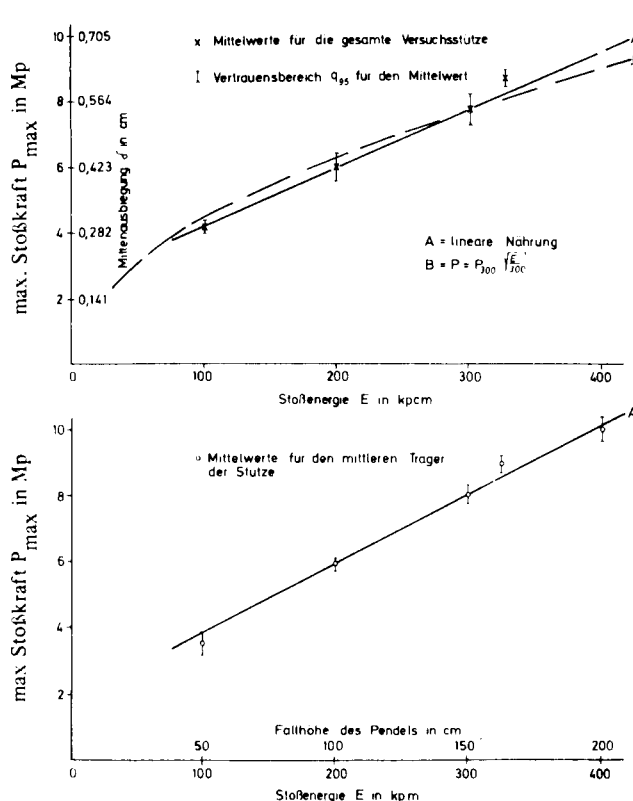


Bild 6: Maximale Stoßkraft

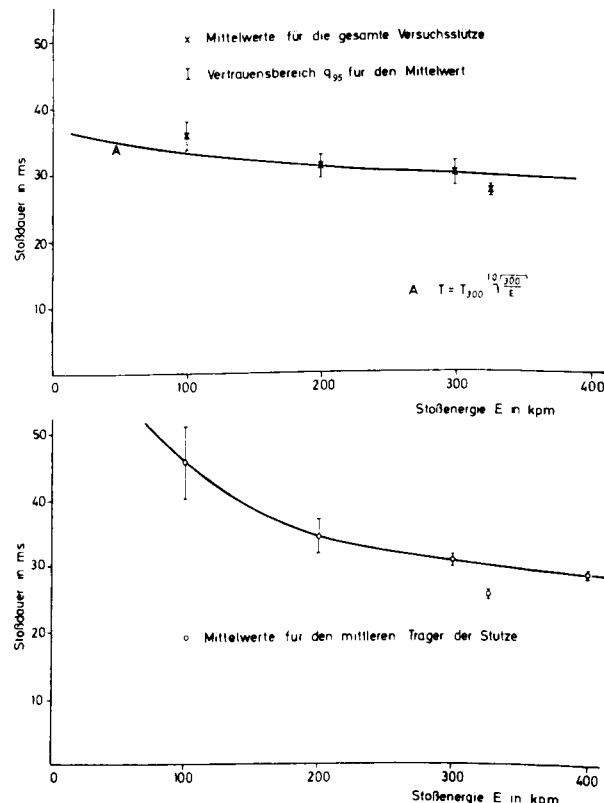


Bild 7: Stoßdauer

Das bedeutet – mit Ausnahme des zum ersten Pendel, Reihe a und b, gehörigen Wertes für $E = 326$ kpm – eine überraschend gute Konstanz der K-Werte. Ein geringer Anstieg dieser Werte dürfte übrigens vorhanden sein, da die Kraft etwa linear mit der Energie und nicht entsprechend der Hertzschen Theorie mit $E^{3/5}$ zunimmt. Dieses Kraftgesetz ist plausibel; es bedeutet ein nichtlineares Federungsvermögen des Pendels als Folge einer Versteifung bei Beanspruchungen mit höherer Geschwindigkeit. Hierin drückt sich also das spezielle Verhalten des Bleischrot-Pendels aus. Besondere Hervorhebung verdient jedoch die Tatsache, daß das Pendel vor jedem erneuten Schlag eines ursprünglichen Eigenschaften wiedergewinnt und daß es somit geeignet ist, reproduzierbare Stoßbelastungen zu erzeugen. Das untersuchte Pendel kann also in erster Näherung als nichtlineares elastisches System betrachtet werden. Die zweifellos bei geringer Verformungsgeschwindigkeit vorhandenen plastischen Eigenschaften des Sackpendels sind im Bereich der Prüfgeschwindigkeiten bereits nicht mehr vorhanden bzw. nicht mehr von wesentlichem Einfluß auf die Reproduzierbarkeit der Beanspruchungen.

Nach Hertz ist die Stoßdauer T nur in geringem Maße von der Stoßgeschwindigkeit v bzw. hier der Fallhöhe h abhängig: $T \sim v^{1/5} \sim h^{1/10}$, so daß man beim Übergang von $h = 0,5$ m auf $2,0$ m theoretisch nur mit 15 % kürzeren Stoßdauern zu rechnen hat. Aus Bild 7 geht

hervor, daß die tatsächlichen Änderungen etwas größer sind, was wiederum mit dem nichtlinearen Federungsverhalten erklärt werden kann.

Die gemessenen Impulsfunktionen sind zwar alle von Schwingungen überlagert; es wurde jedoch kaum ein hinsichtlich des Amplitudenverhältnisses wesentlicher Ausschlagvorgang registriert. Daher ist anzunehmen, daß die Bedingung $\omega T/\pi \gg 1$ erfüllt war und an der Stütze die Impulsfunktion $P(t)$ gemessen wurde. Rechnerisch ergibt sich unter Verwendung der gemessenen Impulsdauer $T > 27$ ms und der errechneten Eigenfrequenz $f \sim 48$ Hz der Wert $\omega T/\pi \approx 2,6$ und auch mit den in Abschnitt 3 abgeschätzten Werten für die Stoßdauer, vgl. Tab. 1, $17 < T$ in ms < 55 , folgt noch $\omega T/\pi \approx 1$.

Die Stoßdauer ist also nicht so kurz, wie für eine Vorherberechnung der Anpralllast nach Gleichung (3.1) erforderlich ist. Das erklärt auch den Unterschied zwischen berechneter (Tab. 1) und gemessener Stoßkraft (Tab. 4).

Im theoretischen Teil war zur Erläuterung eines Stoßvorganges ein „Halbsinus“ als Impulsfunktion betrachtet worden. Eine solche Funktion ist jedoch praktisch wenig wahrscheinlich, da hierbei die zeitliche Änderung der Stoßkraft vom Beginn des Stoßes bis zum Maximum der Kraft abnimmt. Es ist eher eine anfängliche Zunahme und vor Erreichen des Maximums eine Abnahme der

Kraftänderung zu vermuten. Ein derartiger Verlauf entspricht etwa einem Kosinusimpuls

$$P(t) = P_{max} \frac{1 - \cos \frac{2\pi}{T} t}{2} \quad 0 < t < T.$$

Die Fläche unter der Impulsfunktion

$$I = \int_0^T P(t) dt.$$

kurz „Impuls“ genannt, hat in diesem Fall den Wert

$$I = \frac{P_{max} T}{2}.$$

Wie man aus Tabelle 5 entnehmen kann, ist die Übereinstimmung der gemessenen Impulse mit einem Kosinusimpuls besser als mit einem Sinusimpuls. Bei E = 100 kpm sind z.T. große Unterschiede zwischen Kompressions- und Restitutionsperiode aufgetreten, so daß eine Beschreibung der Impulsfunktion durch einen um T/2 symmetrischen Ausdruck hier nicht möglich ist.

Die Reproduzierbarkeit der Stoßbeanspruchungen kann anhand der Standardabweichungen s für Kraft, Stoßdauer und Impuls beurteilt werden bzw. bei Vergleich von Größen mit unterschiedlichem Mittelwert x anhand der Variationskoeffizienten $V = \frac{s}{\bar{x}}$, die in Bild 8 aufgetragen sind.

Die Variationskoeffizienten für die Gesamtstütze betragen für Stoßkraft, Impuls und Stoßdauer für alle geprüften Stoßenergien weniger als 5,6 %. Aufgrund dieser kleinen Werte für die Variationskoeffizienten kann die ausreichende Reproduzierbarkeit von Stoßbeanspruchungen mit einem bleischrot-gefüllten Sackpendel als nachgewiesen gelten.

Man ersieht aus diesen Werten aber auch, daß die Beanspruchung der drei Träger – trotz des aufgeschweißten „Pralltellers“ – bei den einzelnen Versuchsreihen ungleichmäßig erfolgte, wobei jedoch die Mittelwerte konstant blieben. Es ist daher zu vermuten, daß die Verwendung einer, aus einem einzigen Träger bestehenden Stütze für derartige Untersuchungen besser gewesen wäre. Allerdings erhält man so bereits einen Eindruck von der örtlichen Verteilung der Beanspruchung, die z.B. bei der Prüfung von gemauerten Brandwänden aus relativ großformatigen Steinen oder Platten von Stein zu Stein wesentlich differieren wird.

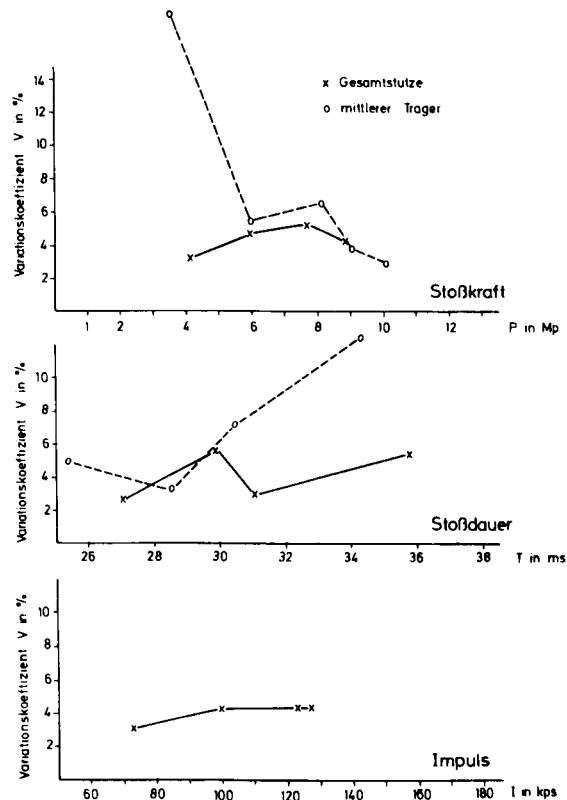


Bild 8: Reproduzierbarkeit der Stoßbeanspruchung

Obleich der Variationskoeffizient auch über die Beeinflussung von Ergebnissen durch vorangegangene Untersuchungen etwas aussagt – z.B. schließt $V \approx 0$ einen derartigen Einfluß aus – läßt sich aus der grafischen Darstellung, Bild 9, anschaulicher entnehmen, daß sich die Pendeleigenschaften bei dem untersuchten System und im Bereich der hier erzeugten Anpralllasten bei wiederholtem Pendelschlag nicht verändern.

6. Schlußfolgerungen

Das wesentliche Ergebnis der erläuterten Untersuchungen besteht in dem Nachweis, daß mit dem verwendeten bleischrotgefüllten Sackpendel – reproduzierbare und von der Vorgeschichte des Pendels unabhängige – Stoß-Festigkeitsprüfungen möglich sind. Durch die Unter-

Tabelle 5
Vergleich zwischen eingeleitetem und gemessenem Impuls

Stoßenergie	100	200	300	326	400	kpm
eingeleiteter Impuls I	64,0	90,3	111	118	128	kp s
maximale Stoßkraft P_{max}	4,1	6,0	7,7	8,9	10	Mp
Stoßdauer T	36	31	30	27	28	ms
Sinus-Impuls $\frac{2}{\pi} P_{max} T$	(93)	118	146	153	182	kp s
Kosinus-Impuls $\frac{2}{\pi} P_{max} T$	(73)	92	115	120	143	kp s
gemessener Impuls I	73	93	127	124	154	kp s

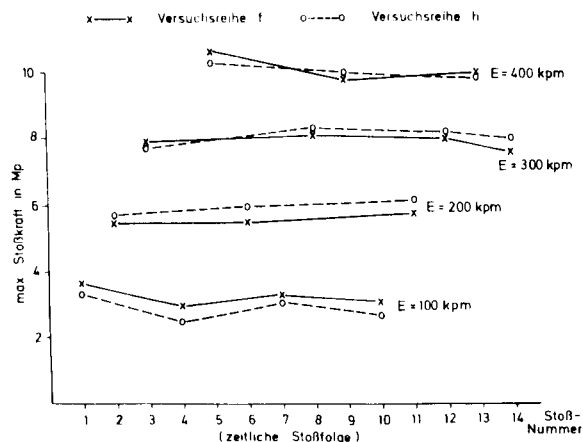


Bild 9: Auswirkung vorangegangener Stoß-Festigkeitsprüfungen

suchungen haben sich jedoch auch neue Probleme ergeben:

1. Die tatsächliche Größe der kinetischen Energie, die beim Stoß auf die Eichstütze übertragen wird, ist unbekannt. Bei unterschiedlichen Pendelaufhängungen werden Abweichungen bis etwa 15 % vom theoretischen Energiewert für möglich gehalten. Zur Untersuchung dieser Frage sind u.a. Messungen der Sackendgeschwindigkeit erforderlich.
2. Orientierende Versuche, die Steifigkeit einer gegebenen Stütze durch zusätzliche Maßnahmen nachträglich zu verändern, sind unbefriedigend ausgefallen. Es scheint daher geraten, weitere Stoß-Untersuchungen an Stützen anderer Biegesteifigkeit durchzuführen. Dabei sollte dann auch die Durchbiegung als Funktion der Zeit – und zwar synchron mit der Verformung – gemessen werden.
3. Die wichtigste Aufgabe betrifft jedoch die Klärung der Stoßbeanspruchung von Wänden beim Norm-Festigkeitsversuch im Brandhaus. Nachdem die Eignung des Sackpendels für derartige Untersuchungen grundsätzlich feststeht, sollte man nunmehr versuchen, zu quantitativen Angaben über die hierbei auftretenden Beanspruchungen zu gelangen.

Zwei orientierende Untersuchungen an gemauerten Wänden aus Bimsbetonsteinen haben gezeigt, daß hier

- a) eine so eindeutige Impulsbeanspruchung wie an der Stahl-„Eichstütze“ nicht auftritt, sondern sich vielmehr eine Art Ausschwingvorgang mit verstärkter erster Halbwelle – also ein Stoß mit $\omega T < 1$ – ergibt,

b)

keine Übereinstimmung der Wandverformung mit der statischen Biegelinie vorhanden ist. Die Stoßkräfte verhalten sich in Wandmitte und Viertelpunkt etwa wie 4 : 1, es wird also bereits ein „Stanzeffekt“ eingeleitet. Bei wiederholten Stößen werden einzelne Steine unter der Stoßfläche aus dem Verband gedrückt.

Abschließend soll nochmals betont werden, daß bei einer Stoß-Festigkeitsprüfung Systeme mit unterschiedlichem Federungsvermögen grundsätzlich unterschiedlich beansprucht werden. Eine derartige Prüfung wird deshalb immer eine Alternativmethode sein, mit der man die geprüften Wände nur in Klassen mit dem Prädikat „bestanden“ oder „nicht bestanden“ einzuordnen vermag, wie es auch beim Brandversuch nach DIN 4102 der Fall ist.

LITERATUR

- [1] Meyer-Ottens, C. und Bub, H.: „Stoßbeanspruchung bei Wänden mit bestimmter Feuerwiderstandsdauer und bei Brandwänden“. Berichte aus der Bauforschung, Heft 50, Berlin 1967.
- [2] Meyer-Ottens, C.: Brand- und Stoßversuche, Teil I und II, Berichte aus der Bauforschung, Heft 61, Berlin 1969, S. 7 bis 44.
- [3] Smirnow, W.I.: „Lehrgang der höheren Mathematik“. Teil II, Berlin 1955.
- [4] Kittelsen, K.E.: „Einführung in die Messung und Beschreibung des Stoßes“. Brüel & Kjaer TECHNICAL REVIEW, No. 3, 1966.
- [5] Graf, U. und Henning, H.J.: „Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik“. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1958.
- [6] Szabó, I.: „Einführung in die Technische Mechanik“. 7. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 1966.
- [7] Szabó, I.: „Höhere Technische Mechanik“. 4. Auflage, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1964.
- [8] Reiher, H. und von Soden, D.: „Einfluß von Erschütterungen auf Gebäude“. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 995, Köln und Opladen 1961.
- [9] Emschermann, H. und Rühl, K.: „Beanspruchungen eines Biegeträgers bei schlagartiger Querbelastung“. VDI-Forschungsheft 443 (1954).

Schlußbetrachtung
von
o. Prof. Dr.-Ing. K. Kordina
Obmann des Arbeitsausschusses DIN 4102
„Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“

Aufgrund der zahlreichen Versuchsergebnisse, wie sie u.a. in den Abschlußberichten Teil I – III zum Forschungsauftrag „Brandversuche an Brandwänden“ beschrieben sind, definierte der Arbeitsausschuß DIN 4102 im Fachnormenausschuß Bauwesen des DNA in seiner Sitzung im Juni 1968 den Begriff „Brandwände“ und verabschiedete die dazugehörigen Anforderungen und Prüfverfahren. Danach gilt für Brandwände im Sinne von DIN 4102, „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“, Blatt 3, Anforderungen und Prüfungen von Sonderbauteilen, Ausgabe 1969, folgendes:

„Brandwände“

1. Begriff

Brandwände sind Wände, die so ausgeführt sind, daß sie beim Brand auch unter ausmittiger Beanspruchung sowie unter Stoßbeanspruchung ihre Standsicherheit bewahren und als Raumabschluß wirksam bleiben.

2. Anforderungen

- 2.1 Brandwände müssen bei den Brandversuchen nach DIN 4102, Blatt 2, Abschnitt 5, unter der in Abschnitt 3.1 angegebenen Belastung während einer Prüfdauer von 90 Minuten und bei dem anschließenden Festigkeitsversuch nach Abschnitt 3.2 die Anforderungen nach DIN 4102 Blatt 2, Abschnitt 3.3., sinngemäß erfüllen.
- 2.2 Brandwände müssen aus Baustoffen der Klasse A (nichtbrennbare Baustoffe) bestehen.

3. Prüfung

- 3.1 Für die Prüfeinrichtungen und Probekörper sowie die Durchführung der Versuche gilt DIN 4102 Blatt 2, Abschnitt 5, sinngemäß. Die Wände sind jedoch ohne Putz und Verkleidung herzustellen; sie müssen sich an den seitlichen Rändern frei verformen können; sie sind im Abstand $d/3$ von der dem Feuer abgekehrten Wandfläche (d = Wanddicke) so zu belasten, daß am lastnahen Querschnittsrand die Randspannung $\sigma_R = \sigma_{zul}$ herrscht. Wände, die während der Prüfdauer auf der Feuerseite so stark zermürbt werden, daß hierdurch allein eine wesentliche ausmittige Belastung auftritt, sind in einem weiteren Versuch im Abstand $d/3$ von der dem Feuer zugekehrten Seite zu belasten.
- 3.2 Zum Festigkeitsversuch wird der eingebaute Probekörper je zweimal unter Last entsprechend Abschnitt 3.1 und anschließend einmal ohne Last

durch einen 200 kg schweren Bleischrotsack jeweils mit einer Stoßarbeit von 300 kp m auf einer Fläche von etwa 400 cm² in Wandmitte auf der dem Feuer abgekehrten Seite beansprucht. Die Stöße werden als Pendelstöße ausgeführt. Die Pendellänge soll etwa 2,80 m betragen.

- 3.3 Für das Prüfzeugnis gilt DIN 4102, Blatt 2 Abschnitt 5.4., sinngemäß.

Mit der Verabschiedung dieser Normabschnitte wurde ein neues Prüfverfahren geschaffen, das gestattet, Wände im belasteten wie unbelasteten Zustand auf ihre Eignung als Brandwände im Sinne dieser Norm zu beurteilen.

Belastete Wände können entsprechend ihrem Einbauort und ihrer Einbauart (Keller- oder Dachgeschoß) statisch verschieden hoch ausgenützt sein. Das Prüfverfahren erfaßt diese Unterschiede dadurch, daß im Versuch zwei Stöße unter Last $g + p$ und ein Stoß ohne Last – d.h. nur unter Eigengewicht g – ausgeführt werden.

Unbelastete Wände, die sich infolge der fehlenden Belastung im allgemeinen ungünstiger verhalten als belastete Wände, werden ebenfalls durch **dasselbe** Verfahren beurteilt; d.h.: es werden zwei Stöße unter der rechnerisch zulässigen Last, die im belasteten Fall maßgebend wäre, und ein Stoß unter Eigengewicht allein ausgeführt. Die beiden Stöße unter der Versuchsbelastung ergeben hier für den dritten Stoß eine Vorverformung, die näherungsweise einen Ausgleich für das ungünstigere Verhalten in der Praxis herbeiführt. Verankerungen, Befestigungen, Halterungen usw. werden entsprechend den Forderungen von Blatt 2 dabei mitgeprüft.

Alle Wände werden im allgemeinen bei einer Wandhöhe von 2,65 m als zweiseitig gelagerte Wände untersucht. Das Ergebnis gilt dann für die gesamte Konstruktionsart, sofern auch alle anderen geltenden Vorschriften – z.B. über die Schlankheit, aussteifende Querwände, zug- und schubfeste Anschlüsse an Decken, usw. – eingehalten werden.

Vergleicht man die nun verabschiedeten Normabschnitte über Brandwände mit den Versuchsergebnissen nach Teil I – II, insbesondere mit den in Bild 6 Teil II wiedergegebenen Werten an bisher üblichen Brandwänden, so ergibt sich folgendes:

1. Bisher übliche Brandwände aus Kalksandsteinen, Mauerziegeln und Betonbausteinen, gemauert nach DIN 1053, können auch in Zukunft als Brandwände gelten, wobei die Stein- oder Ziegel-Lochung und das Stein- oder Ziegel-Raumgewicht eine bestimmte Rolle spielen:

- 1.1 Wände mit Steinen oder Ziegeln mit keinen oder kleinen Löchern und hohem Raumgewicht werden wie bisher in 24 cm Dicke als Brandwände gelten.
 - 1.2 Wände mit Steinen oder Ziegeln mit großer Lochung und niedrigem Raumgewicht – z.B. bestimmte KSL-Steine und Ziegel mit $\gamma \sim \leq 1,2 \text{ kp/dm}^3$ – werden nur noch bei Wanddicken $d > 24 \text{ cm}$ als Brandwände verwendet werden dürfen.
 - 1.3 Wände aus Voll- oder Hohlblocksteinen nach DIN 18 152 und 18 151 werden nur noch bei höherem Raumgewicht in 24 cm Dicke als Brandwände gelten. Wände aus solchen Steinen mit Raumgewichten $\leq \sim 1,0 \text{ kp/dm}^3$ werden nach bisherigen Erfahrungen nur noch in etwa 30 cm Dicke die Anforderungen an Brandwände erfüllen. Anschlußversuche an die in Teil I – II beschriebenen Versuche sind hier notwendig.
 - 1.4 Wände aus Gasbetonsteinen nach DIN 4165 können ebenfalls aufgrund des niedrigen Raumgewichtes nur noch dann als Brandwände verwendet werden, wenn die Wanddicke $> 24 \text{ cm}$ gewählt wird. Auch hier sind Anschlußversuche notwendig.
2. Die bisher nach Zulassungsbescheid des Landes NRW vom 21. 7. 1964 zugelassene 20 cm dicke Brandwand aus geschoßhohen Gasbeton-Wandplatten GSB 35 mit 6 cm dicker Fuge – Fugenverguß aus Mörtel der Gruppe III DIN 1053 – und je einer Bewehrungsmatte auf jeder Plattenaußenseite – Betondeckung $\bar{u} \sim 2,5$ bis 3,0 cm – darf auch nach den neuen Vorschriften noch als Brandwand eingebaut werden.
 3. Bisher übliche Brandwände aus Beton – unbewehrt oder mit Transportbewehrung – und Stahlbeton gelten in den bisherigen Dicken auch in Zukunft als Brandwände.

Durch die Verabschiedung des neuen Prüfverfahrens ist es möglich, über den Rahmen der bisher üblichen Brandwände hinaus auch noch andere Wandkonstruktionen auf ihre Eignung als Brandwand zu prüfen. In einer Reihe von firmengebundenen Untersuchungen wurde inzwischen bewiesen, daß die Anforderungen an Brandwände z.B. auch von bewehrten Ziegelmontagewänden mit Dicken $d \geq 16,5 \text{ cm}$ und von bewehrten, 17,5 cm dicken Gasbetonplattenwänden in anderer Ausführung als im o.a. Zulassungsbescheid angegeben, erfüllt werden.

Diese Versuchsergebnisse und die noch durchzuführenden Anschlußversuche mit gemauerten Wänden aus Steinen nach DIN 18 151 – 52 und DIN 4165 sowie u.U. noch weitere für die Industrie durchzuführende Versuche werden neben den Ergebnissen der in diesem Heft veröffentlichten Forschungsberichte Grundlage für die Bearbeitung des Abschnittes Brandwände in DIN 4102 Blatt 4, zukünftige Fassung, sein.

1. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen

Die in den Jahren 1952—1957 in der Franckh'schen Verlagshandlung, Stuttgart-O., erschienenen Hefte 1 bis 28 der Schriftenreihe „Fortschritte und Forschungen im Bauwesen“ sind vergriffen. Anfragen über den Inhalt dieser Hefte können an die Dokumentationsstelle für Bautechnik in der Fraunhofer-Gesellschaft, 7 Stuttgart W., Silberburgstraße 119 A, gerichtet werden.

- Heft 1:** Technische Entwicklung und Kostensenkung im Wohnungsbau. Arbeiten und Ergebnisse des Instituts für Bauforschung e. V., Hannover. 1949/50. Von Dr.-Ing. *Wolfgang Triebel*. 32 Seiten DIN A 4, mit 46 Abbildungen.
- Heft 2:** Schallschutz. 1952. 136 Seiten DIN A 4, mit 90 Abbildungen und 20 Zahlentafeln.
Inhalt: Vorwort von *Bernhard Wedler* — Schalltechnische Untersuchungen von Wänden und Decken von *Theodor Kristen* und *Helmut Brandt* — Der Schallschutz von Decken und Wänden. Zusammenfassende Darstellung neuerer Erkenntnisse von *Karl Gössels* — Näherungsweise Berechnung der von einem schwimmenden Estrich zu erwartenden Verbesserungen von *Lothar Cremer*.
- Heft 3:** Entwicklung der Kalksandsteine. Feuchtigkeit in Außenwänden. 1952. 79 Seiten DIN A 4, mit 35 Abbildungen und 30 Zahlentafeln.
Inhalt: Versuche zur Fortentwicklung des Kalksandsteins von *Alfred Hummel* — Der Feuchtigkeitsgehalt von Außenmauern in bewohnten Gebäuden von *Walter Schüle* — Die Durchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen für Wasserdampfdiffusion und die dadurch bedingte Möglichkeit einer Wändurchfeuchtung von *J. S. Cammerer* und *P. Göring*.
- Heft 4:** Anhydrit. 1952. 60 Seiten DIN A 4, mit 1 Karte, 18 Abbildungen und 6 Zahlentafeln.
Inhalt: Vorwort von *Otto Graf* — Anhydritvorkommen von *Manfred Frank* — Eigenschaften von Anhydritbindern als Bindemittel im Hochbau von *Kurt Wals* — Versuche mit Anhydrit von *Wilhelm Pichet*.
- Heft 5:** Putzen mit Maschinen. Bericht über Geschichte und Stand der Entwicklung von *Ludwig Bölkow*. 1952. 36 Seiten DIN A 4, mit 26 Abbildungen.
- Heft 6:** Holzfenster, Verbesserung der Konstruktion und der Fertigung, der Beschläge und der Getriebe. Von *Heinrich Rettig*. 1952. 52 Seiten DIN A 4, mit 72 Abbildungen.
Inhalt: Kostensenkung bei Bautischlerarbeiten durch neuzeitliche Arbeitsweisen — Die Fenster für den Wohnungsbau müssen vereinfacht und verbessert werden — Einstemmband und Aufsatzband — Getriebe für aufgehende Mittelstücke bei Drehfügel-fenstern.
- Heft 7:** Rationalisierung im Wohnungsbau. Ausbauwürdigkeit von Brandruinen. 1952. 110 Seiten DIN A 4, mit 69 Abbildungen und 6 Zahlentafeln.
Inhalt: Beiträge zur Rationalisierung im Wohnungsbau von *Wolfgang Triebel* — Über die Ausbauwürdigkeit von Brandruinen von *Karlhaus Weiss* unter Mitwirkung von *W. Finkbeiner*, *F. Färinger*, *H. Gerlach*, *C. Hahn*, *H. Korth* und *B. Wedler*.
- Heft 8:** Über die Tragfähigkeit von Mauerwerk, insbesondere von stockwerkshohen Wänden. Von *Otto Graf*. 1952. 51 Seiten DIN A 4, mit 40 Abbildungen und 17 Zahlenzusammenstellungen.
- Heft 9:** Versuche für den Holzbau. 1953. 138 Seiten DIN A 4, mit 163 Abbildungen und 32 Zahlentafeln.
Inhalt: Vorwort von *Otto Graf* — Versuche mit zweiteiligen, geleimten Holzstützen von *Karl Egner* — Biege- und Knickversuche mit zusammengesetzten Holzdruckstäben von *Karl Möhler* — Spalten und Tragfähigkeit von Nagelverbindungen von *Gerhard Marten* — Verhalten von Nagelverbindungen mit dicken Drahtstiften von *Karl Egner* — Über die erforderliche Mindestdicke hölzerner Dachschalungen mit Querverbindungen von *Karl Egner* und *Gerhard Marten* — Biegeschwellbelastung 35 m langer, genagelter Vollwandträger von *Karl Egner*.
- Heft 10:** Angemessenes Tageslicht im Wohnungsbau. Von *W. Büning*. 1953. 73 Seiten DIN A 4, mit 38 Abbildungen und 19 Zahlentafeln.
Inhalt: Hygiene und Tagesbeleuchtung — Ermittlung angemessener Fenster.
- Heft 11:** Holzschutz. 1953. 59 Seiten DIN A 4, 14 Kunstdrucktafeln mit 24 Abbildungen, 1 Zahlentafel.
Inhalt: Vorwort von *Bernhard Wedler* — Holzzerstörende Pilze in Berliner Gebäuden nach dem Krieg von *Gerda Thoden* — Über den Hausbockkäfer von *Kurt Schuch* — Verblautes Holz von *Herbert Zycha* — Laboratoriumsversuche über die Eignung pilzwidriger Stoffe zur Behandlung schwammbefallenen Mauerwerks von *Gerda Thoden*, *Käthe Starfinger* und *Günther Becker* — Über Wert und Grenzen von Laboratoriumsversuchen auf dem Holzschutzgebiet von *Günther Becker* — Zur Frage der chemischen Schutzbehandlung von Bauholz von *Karl Storch* — Holzschutzbücher und -schriften für den Baufachmann von *Werner Baven-damm*.
- Heft 12:** Die Bauvorbereitung in der Praxis des Wohnungsbaus. Aus Arbeiten des Instituts für Bauforschung e. V., Hannover. Von *Wolfgang Triebel*. 1954. 47 Seiten DIN A 4, mit 51 Abbildungen.
- Heft 13:** Die Steigerung der Maurerleistung durch Verwendung großformatiger Mauersteine. Von *Helmut Schönefeld*. 1953. 51 Seiten DIN A 4, mit 29 Abbildungen und 5 Zahlentafeln.
Ergebnisse arbeitstechnischer Versuche des Instituts für Bauforschung e. V., Hannover, in den Jahren 1950 und 1951.
- Heft 14:** Rationelle Küchen. Forschungsergebnisse aus einer Untersuchung über Arbeitsablauf und Betriebsformen in Küchen. Von *Margarete Müller*. 1953. 50 Seiten DIN A 4, mit 34 Abbildungen.
- Heft 15:** Stuckgips und Putzgips. Physik.-technologische Eigenschaften und ihre Prüfung. Von *Walter Albrecht*. 1953. 91 Seiten DIN A 4, mit 32 Abbildungen und 5 Zahlentafeln.
Ergebnisse von Versuchen mit Stuckgips und Putzgips für die Normung der Eigenschaften dieser Gipse, durchgeführt in der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen an der Technischen Hochschule Stuttgart.
- Heft 16:** Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit von Zentralwaschanlagen und Einzelwaschküchen. 1954. 70 Seiten DIN A 4, mit 26 Abbildungen und 3 Tabellen.
Inhalt: Aufgaben und Ziele der Wäschereiforschung im Wohnungs- und Siedlungswesen von *Kurt Weber* — Die Wirtschaftlichkeit von Zentralwaschanlagen. Bericht der Arbeitsgruppe *Theodora Meyer-Köring*, *Walter Knies*, *Hans Lach* und *Werner Tesch* — Hauswaschküchen mit neuzeitlicher Maschinenausstattung zur Selbstbedienung von *Max Hauschild*.

- Heft 17: Grundbau. Vorschriften und Versuche.** Teil I. 1954. 174 Seiten DIN A 4, mit 121 Abbildungen und Tabellen.
Inhalt: Vorwort von *Bernhard Wedler* — Die in verschiedenen Ländern zulässigen Bodenpressungen von *Edgar Schultze* — Normen auf dem Gebiete des Erd- und Grundbaus von *Hans Petermann* — Ergebnisse von Probabelastungen auf großen Lastflächen zur Ermittlung der Bruchlast im Sand. 1. Bericht (Versuche durchgeführt im Jahr 1951) von *Heinz Muhs*; 2. Bericht (Versuche, durchgeführt im Jahr 1952) von *Hermann Kahl* — Beitrag zur Auswertung von Baugrund — Probabelastungen (auf nicht bindigen Böden) von *Wulff Niesbuhr* — Einfluß von Fehlerquellen bei Kompressionsversuchen von *Heinz Muhs* und *Manfred Kany* — Das seitliche Nichtenliegen der Bodenprobe im Kompressions-Apparat als Fehlerquelle beim Druck-Setzungs-Versuch von *Hans Leussing* — Fehlerquellen und deren Ausschaltung beim Druck-Setzungs-Versuch (Kompressionsversuch) von *Josef Schmidbauer*.
- Heft 18: Spannungsoptische Untersuchungen.** 1955. 43 Seiten DIN A 4, mit 11 Abbildungen, 3 Zahlentafeln, 23 Bildtafeln.
Inhalt: *Gustav Mesmer*: Grundlagen und neuere Möglichkeiten des spannungsoptischen Verfahrens — *Kurt Hirschfeld*: Die Spannungsverteilung in Fundamentquerschnitten.
- Heft 19: Koch- und Heizgeräte im sozialen Wohnungsbau.** 1955. 23 Seiten DIN A 4, mit 23 Abbildungen, 3 Tabellen und 3 Zahlentafeln.
Inhalt: Koch- und Heizgeräte im sozialen Wohnungsbau; Bericht über eine Umfrage des Bundesministers für Wohnungsbau von *Wilhelm Raiss* — Übersicht neuzeitlicher transportabler Koch- und Heizgeräte bzw. Feuerstätten von *Georg Zimmermann*.
- Heft 20: Versuche für den Holzbau.** Teil II. 1955. 108 Seiten DIN A 4, mit 259 Abbildungen und 64 Zahlentafeln.
Inhalt: Vorwort von *Otto Graf* — Versuche mit geleimten Holzstützen, II. Teil von *Karl Egner* — Biege- und Knickversuche an Stützen mit zusammengesetzten, kontinuierlich vernagelten Holzquerschnitten von *Karl Möhler* — Folgerungen aus den Karlsruher und Stuttgarter Knickversuchen der letzten Jahre von *Karl Egner* und *Karl Möhler* — Versuche über die Tragfähigkeit von Dübelverbindungen in Schräganschlüssen von *Karl Egner* und *Hans Kolb* — Versuche mit Bolzenverbindungen (Schraubenbolzen) von *Karl Egner* — Versuche über den Einfluß der Nagelfestigkeit und der Holzfestigkeit auf die Widerstandsfähigkeit von genagelten Holzverbindungen von *Wilhelm Stoy* und *Frans Mlynsek* — Über den Einfluß der Nagelabstände auf die Tragfähigkeit vierseitig gedeckter, genagelter Zugstöße von *Karl Egner* — Über den Einfluß der Querschnittschwächung durch Drahtstifte auf die Tragfähigkeit hölzerner Bauteile von *Karl Egner* und *Hans Kolb* — Untersuchungen mit Leimen für tragende Bauteile von *Karl Egner* — Festigkeitsversuche mit Nadelholzerbstangen von *Hans Kolb* — Festigkeitseigenschaften vergüteter Holzter (Zusammenfassende Übersicht) von *Helmuth Brünig* — Künstliche Holz Trocknung in Schweden und Finnland von *Hans Kolb*.
- Heft 21: Erprobung der Arbeitsküche auf ihre praktische Anwendbarkeit und zweckmäßige Möbelleistung.** Ergebnisse aus zwei arbeitstechnischen Untersuchungen der Bundesforschungsanstalt für Hauswirtschaft. Von *Sabine Scherrinsky*. 1955. 24 Seiten, 38 Abb.
- Heft 22: Das Verhalten von Wohnhauswänden bei Bergschäden.** Von *Ernst Rausch*, unter Mitarbeit von *Walter Buttman* und *Manfred Adler*. 1955. 34 Seiten DIN A 4, mit 70 Abb.
- Heft 23: Schallschutz.** Teil II. 1956. 80 Seiten DIN A 4, mit 146 Abbildungen.
Inhalt: Körperschallmessung und Körperschalldämpfung von *Erwin Meyer* und *Marie-Luise Exner* — Bauakustische Vergleichsmessungen von *Albrecht Eisenberg* — Die Bestimmung des dynamischen Elastizitätsmoduls von Trittschalldämmstoffen von *Walter Bach* und *Karl Gösele* — Zusammendrückbarkeit schwimmender Asphalttestriche auf Dämmschichten von *Theodor Kristen*, *Erich Schöniem* und *Adolf Meyer* — Experimentelle Untersuchungen über die Wirkungsweise von schwimmenden Estrichen von *Karl Gösele* — Luft- und Trittschallschutz von Stahlbetonplatten mit schwimmenden Estrichen aus Hartgussasphalt und Zement von *Theodor Kristen* und *Hans Werner Müller* — Das schalltechnische Verhalten von zweischaligen Massivdecken von *Karl Gösele* — Schalltechnische Untersuchungen an Wänden und Decken von *Theodor Kristen* und *Helmuth Brandt* — Bauakustische Untersuchungen an ECA- und anderen Vergleichsbauten. Zusammenfassender Bericht über Messungen mehrerer Institute in ausgeführten Bauten von *Albrecht Eisenberg*.
- Heft 24: Versuche an Mörteln.** 1956. 44 Seiten DIN A 4, 53 Abbildungen mit 19 Tabellen.
Inhalt: Versuche an Mörteln für freistehende Schornsteine von *Alfred Hummel* — Versuche an Mauermörteln von *Alfred Hummel* und *Karlhans Wesche* — Braunkohlenfilterasche als Baustoffbindemittel von *Joachim Endell* — Über den Einfluß von Verzögerern auf die Eigenschaften von Gipsbrei und Gipsmörtel von *Walter Albrecht*.
- Heft 25: Grundbau.** Teil II. 1955. 33 Seiten DIN A 4, 67 Abbildungen.
Inhalt: Zusammenfassende Darstellung des Stands von Wissenschaft und Technik der dynamischen Baugrunduntersuchungen von *Hans-Ulrich Smolczyk* — Derzeitiger Stand des Spitzendruck-Sondierverfahrens von *Hermann Kahl*.
- Heft 26: Gerüstbau.** 1956. 68 Seiten DIN A 4, 134 Abbildungen.
Inhalt: Neuerungen im Gerüstbau nach der Gerüstordnung DIN 4420 von *P. Mlosch* — Verwendungs- und Bauart der Gerüste im Hochbau von *A. Chossy*.
- Heft 27: Baulicher Feuerschutz.** 1957. 100 Seiten DIN A 4, mit 165 Abbildungen und 7 Tafeln.
Inhalt: Baulicher Feuerschutz von *B. Wedler* — Einige grundsätzliche Mängel des bautechnischen Brandschutzes von *R. Schuberth* — Stahlbeton, Stahldecken und Beton bei Feuerwirkung von *B. Wedler* — Verhalten von Wänden aus verschiedenartigem Beton, aus Wandbauplatten und aus Mauersteinen bei Feuerbeanspruchung von *K. Walz*, *Th. Kristen*, *G. Blunk* und *J. Strej* — Widerstandsfähigkeit von Stahlbauten im Feuer von *W. Moheit* — Brandversuche mit Stahlstützen in England von *P. Boué* — Feuersicherheit von Hausschornsteinen von *H. Seekamp* und *K. Möhler* — Baulicher und betrieblicher Feuerschutz in der Landwirtschaft von *W. Harms* — Feuerschutz von Holz und Holzkonstruktionen von *H. Seekamp* — Baulicher Feuerschutz im Industrie- und Gewerbebau von *P. Mlosch*.
- Heft 28: Tragfähigkeit sandiger Böden.** Verhalten von Sand beim Bruch. Probabelastungen und Bodenspannungsmessungen. 1957. 39 Seiten DIN A 4, mit 64 Abbildungen.
Inhalt: Ergebnisse von Probabelastungen auf großen Lastflächen zur Ermittlung der Bruchlast im Sand. 3. Bericht (Versuche 1953 in lockerem bis mitteldichtem Sand) von *Hermann Kahl* und *Heinz Muhs*. Deutsche Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (Degebo), Berlin — Beschreibung und Auswertung von Versuchen zur Feststellung der scheinbaren Kohäsion von erdfeuchtem Sandboden von *Hermann Kahl* und *Hans Neuber*, Degebo Berlin — Auswertung der bei den Probabelastungen auf großen Lastflächen in den Jahren 1952 bis 1954 vorgenommenen Bodenspannungsmessungen von *Hermann Kahl*, *Heinz Muhs* und *Hans Neuber*, Degebo Berlin.

2. Berichte aus der Bauforschung

Vertrieb durch

Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - Wilmersdorf

Heft 1: Baukosten im Wohnungsbau.

Berlin 1956, 43 Seiten DIN A 4 mit 50 Bildern und 24 Zahlentafeln. 10,60 DM.
Auswirkung genereller Planungsmaßnahmen. Forschungsauftrag des Bundesministers für Wohnungsbau, durchgeführt vom Institut für Bauforschung e.V., Hannover, unter Leitung von Oberregierungsrat Dr.-Ing. Wolfgang Triebel, bearbeitet von Architekt Karl Richard Kränzer.

Heft 2: Brandversuche an Hausschornsteinen aus Mauerwerk und Formstücken.

Berlin 1956, 48 Seiten DIN A 4, mit 153 Bildern und 18 Zahlentafeln. 15,40 DM.
Durchgeführt von der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin-Dahlem und der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine an der Technischen Hochschule Karlsruhe, bearbeitet von Dr.-Ing. Horst Seekamp und Dr.-Ing. Karl Mohler.

Heft 3: Neuzeitliche Zentralheizungsanlagen im Wohnungsbau.

Berlin 1956, 62 Seiten DIN A 4, mit 81 Bildern und 55 Zahlentafeln. Vergriffen.
Untersuchungen an neueren Heizungssystemen und Kesseln, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von Prof. Dr.-Ing. W. Reiß, Institut für Heizung und Lüftung, Technische Universität Berlin-Charlottenburg, unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Bang, Dr. Bradtke, Dipl.-Ing. Gier, Dipl.-Ing. Lenz, Prof. Dr. Liese, Prof. Dr.-Ing. Roedler.

Heft 4: Holzwolle-Leichtbauplatten.

Berlin 1957, 50 Seiten DIN A 4, mit 47 Bildern und 28 Zahlentafeln. 13,— DM.
Eigenschaften, Feuchtigkeits- und Frostbeanspruchung. Untersuchungen und Versuche, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von Prof. Dr.-Ing. Th. Kristen und Reg.-Rat Dr.-Ing. Westhoff; Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig, Prof. Dr.-Ing. R. Rusch, Prof. A. Stois und Konservator J. Hierl. Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Hochschule München.

Heft 5: Feuchtigkeitsregelung, Durchfeuchtung und Wärmeleitfähigkeit bei Baustoffen und Bauteilen.

Berlin 1957, 60 Seiten DIN A 4, mit 66 Bildern und 53 Zahlentafeln. 15,— DM.
Untersuchungen und Versuche, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von Dr.-Ing. J. S. Cammerer, Forschungsbau Tutzing, Obb., und Dr.-Ing. H. Schäcke; Institut für technische Physik, Stuttgart.

Heft 6: Rationalisierung der Maurerarbeiten.

Berlin 1957, 43 Seiten DIN A 4, mit 40 Bildern und 8 Zahlentafeln. 12,— DM.
Forschungsauftrag des Bundesministers für Wohnungsbau, durchgeführt vom Institut für Bauforschung e.V., Hannover, unter Leitung von Oberreg.-Rat Dr.-Ing. Wolfgang Triebel, bearbeitet von Dr.-Ing. Helmut Schönfeld.

Heft 7: Holzschutz im Bauwesen.

Berlin 1957, 36 Seiten DIN A 4, mit 27 Bildern und 10 Zahlentafeln. 12,— DM.
Untersuchungen und Versuche im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau, durchgeführt in der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Hann.-Münden, der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem, und der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbeck bei Hamburg.

Heft 8: Wärme- und Feuchtigkeitsschutz in Wohnbauten (1. Heft).

Berlin 1958, 88 Seiten DIN A 4, mit 122 Bildern und 34 Zahlentafeln. Vergriffen.
Reihen-Vergleichsversuche an künstlich bewohnten Versuchsbauten der Freiland-Versuchsstelle bei Holzkirchen/Obb., durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau und anderer Stellen. Bericht über die Versuchszeit 1952 bis 1956, erstattet durch H. Reiher, H. Künzel, D. v. Soden unter Mitarbeit von E. Hardtwig, W. Frank, H. Knodel und H. Labus; Institut für technische Physik, Stuttgart.

Heft 9: Gründungen im Wohnungsbau.

Berlin 1958, 35 Seiten DIN A 4, mit 45 Bildern und 5 Zahlentafeln. Vergriffen.
Untersuchungen und Versuche über die Tragfähigkeit von dünnen Stahlbetonpfählen (1. Versuchsreihe 1953 bis 1957), durchgeführt von Hans Petermann, Bremen; Erich Lackner, Bremen; Wolfram Schenk, Hamburg; und über die Tragfähigkeit des Baugrundes unter Hausfundamenten, durchgeführt von Hans Ulrich Smolczyk, Berlin.

Heft 10: Mörtel und Putz.

Berlin 1958, 116 Seiten DIN A 4, mit 74 Bildern und 82 Zahlentafeln. 15,— DM.
Untersuchungen und Versuche, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von o. Prof. Dr.-Ing. Th. Kristen und Reg.-Rat Dr.-Ing. R. Czech. Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig; Dr. F. Henkel, Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Hochschule München; Oberreg.-Rat Dr. phil. K. Charisius, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem; o. Prof. Dr.-Ing. K. Gaede, Technische Hochschule Hannover.

Heft 11: Außenwände, Luftschichten und Feuchtigkeitsverteilung.

Berlin 1959, 64 Seiten DIN A 4, mit 70 Bildern und 16 Zahlentafeln. Vergriffen.
Untersuchungen und Versuche, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von Reg.-Baurat G. Muthesius, Institut für Bauforschung e.V., Hannover; Dr.-Ing. habil. J. S. Cammerer, Forschungsbau, Tutzing/Obb.; o. Prof. Dr.-Ing. Th. Kristen; und Dr.-Ing. G. Blunk, Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig; Dr.-Ing. H. Schäcke, Institut für technische Physik, Stuttgart.

Heft 12: Gemauerte Wände, Druckversuche.

Berlin 1959, 56 Seiten DIN A 4, mit 69 Bildern und 24 Zahlentafeln. 13,— DM.
Durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von der Amtlichen Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen, Otto-Graf-Institut, an der Technischen Hochschule Stuttgart; und Materialprüfungsamt der bayerischen Landesgewerbeanstalt in Nürnberg.

Heft 13: Körperschall in Gebäuden.

Berlin 1960, 64 Seiten DIN A 4, mit 73 Bildern und 8 Zahlentafeln. 13,50 DM.
Untersuchungen über die Schalldämmung, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau vom Institut für Technische Akustik der Technischen Universität Berlin; dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig; dem Dritten Physikalischen Institut der Universität in Göttingen und dem Institut für Technische Physik in Stuttgart.

Heft 14: Schallschutz von Bauteilen.

Berlin 1960, 126 Seiten DIN A 4, mit 136 Bildern und 16 Zahlentafeln. 19,50 DM.
Untersuchungen und Versuche, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau vom Institut für Technische Akustik der Technischen Universität Berlin, dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig, dem Staatlichen Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund-Aplerbeck und dem Institut für Technische Physik, Stuttgart. Vergriffen

Heft 15: Wärme und Feuchtigkeit, Wärmeübergang, Wärmebedarf, Feuchtigkeit in Putzen und Wänden.

Berlin 1960, 60 Seiten DIN A 4, mit 59 Bildern und 32 Zahlentafeln. 12,50 DM.
Untersuchungen und Versuche, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von Dr.-Ing. habil. J. S. Cammerer, Forschungsbau Tutzing/Obb.; Prof. Dr.-Ing. O. Krischer, Lehrstuhl für Heizungs- und Trocknungstechnik an der Technischen Hochschule Darmstadt; und o. Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Kristen und Oberingenieur Dr.-Ing. H. J. Wierig, Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig.

- Heft 16: Wärme- und Feuchtigkeitsschutz in Wohnbauten (2. Heft)** Vergriffen
 Berlin 1960, 68 Seiten DIN A 4, mit 71 Bildern und 29 Zahlentafeln. 15,50 DM.
 Reihen-Vergleichsversuche an künstlich bewohnten Versuchsbauten der Freiland-Versuchsstelle bei Holzkirchen/Obb., durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau und anderer Stellen. **Bericht über die Versuchszeit von 1956 bis 1959**, erstattet durch *H. Reher, H. Kunzel, W. Frank* und *H. Labus*; Institut für technische Physik, Stuttgart.
- Heft 17: Bauforschung im Hansaviertel.**
 Berlin 1961, 120 Seiten DIN A 4, mit 146 Bildern und 21 Zahlentafeln. 14,40 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau mit Unterstützung des Senators für Bau- und Wohnungswesen, Berlin; von *G. Meyer-Ehlers*, Pädagogische Hochschule Berlin; *W. Triebel, G. Braun, H. Becker, P. Carlsen*, Institut für Bauforschung Hannover; *H. Muhs*, Deutsche Forschungs-Gesellschaft für Bodenmechanik (DEGEBO), Berlin; *W. Reiß*, Institut für Heizung und Lüftung an der Technischen Universität, Berlin; *L. Cremer*, Institut für Technische Akustik an der Technischen Universität, Berlin; *W. Caemmerer* und *P. Schneider*, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem; *F. Roedler* und *G. Schlüter*, Bundesgesundheitsamt, Berlin-Dahlem.
- Heft 18: Tragfähigkeit und Setzungen sandiger Böden**
 Berlin 1961, 98 Seiten DIN A 4, mit 151 Bildern und 18 Zahlentafeln. 20,— DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von Dr.-Ing. *Muhs* und Dipl.-Ing. *Kahl*, Deutsche Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (DEGEBO) Berlin.
- Heft 19: Setzungen von Bauwerken und ihre Vorhersage**
 Berlin 1961, 56 Seiten DIN A 4, mit 23 Bildern und 5 Zahlentafeln. 13,60 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Bundesministers für Wohnungsbau von Dr.-Ing. *H. Neuber*, Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (DEGEBO) Berlin, jetzt Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, Westwall 124.
- Heft 20: Hausschornsteine, heiztechnische Belastbarkeit, Zugstörungen durch Windeinfluß**
 Berlin 1961, 88 Seiten DIN A 4, mit 83 Bildern und 11 Zahlentafeln. 12,20 DM.
 Untersuchungen und Versuche durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungsbau von *H. Lenz* und *F. Zimmermann*, Institut für Heizung und Lüftung der Technischen Universität Berlin (Direktor Prof. Dr. Ing. W. Reiß), *K. J. Bauermeister*, Institut für Strömungsmechanik der Technischen Hochschule Braunschweig (Leitung: Prof. Dr. H. Schlichting).
- Heft 21: Gemauerte und vorgefertigte Wände**
 Berlin 1962, 64 Seiten DIN A 4, mit 51 Bildern und 42 Zahlentafeln. 13,50 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von *P. Carlsen*, Institut für Bauforschung e. V. Hannover, *H. Adam*, Institut für Bauforschung e. V. Hannover, *W. Dressel, J. Schmidt, H. Brocker*, Institut für Arbeitswissenschaft, Stuttgart.
- Heft 22: Wärmetechnische, heiztechnische und raumklimatische Untersuchungen.**
 Berlin 1962, 53 Seiten DIN A 4 mit 46 Bildern und 20 Zahlentafeln. **Vergriffen.**
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von *W. Schüle, R. Jenisch* und *U. Fauth*, Institut für Technische Physik der Fraunhofer Gesellschaft Stuttgart, *J. S. Cammerer*, Forschungsbau Tutzing/Obb.
- Heft 23: Wärmeschutz, Feuchtigkeit, Dampfdiffusion und Tauwasserbildung, Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen.**
 Berlin 1962, 64 Seiten DIN A 4 mit 36 Bildern und 40 Zahlentafeln. **Vergriffen**
 Untersuchungen und Versuche durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung und anderer Stellen von *J. S. Cammerer*, Forschungsbau Tutzing/Obb., *W. Schüle*, Institut für Technische Physik der Fraunhofer-Gesellschaft Stuttgart und *O. Krücher*, Lehrstuhl für Heizungs- und Trocknungstechnik an der Technischen Hochschule Darmstadt.
- Heft 24: Holznagelbau-Versuche*).**
 Berlin 1962, 72 Seiten DIN A 4, mit 74 Bildern und 22 Zahlentafeln. 14,20 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung sowie anderer Stellen von *K. Egner, F. Dürr, H. Kolb*, Otto-Graf-Institut an der Technischen Hochschule Stuttgart und *K. Möhler*, Technische Hochschule Karlsruhe.
 *) Bei Bestellung ist der Titel „Holznagelbau-Versuche in der Bauforschung“ anzugeben.
- Heft 25: Holzleimbau.**
 Berlin 1962, 78 Seiten DIN A 4, mit 96 Bildern und 27 Zahlentafeln. 18,20 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung sowie anderer Stellen von *K. Egner, H. Dorn* und *H. Kolb*, Otto-Graf-Institut an der Technischen Hochschule Stuttgart.
- Heft 26: Holzschutz im Bauwesen. (2. Heft).**
 Berlin 1962, 72 Seiten DIN A 4 mit 39 Bildern und 19 Zahlentafeln. 16,— DM.
 Untersuchungen und Versuche durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von *K. Egner* und *H. Sinn*, Amtliche Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen, Otto-Graf-Institut, Stuttgart, *A. Koring*, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Hannoversch-Münden, *G. Becker* und *M. Gersonde*, Bundesanstalt für Materialprüfung Berlin, *W. Havendamm*, Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Reinbeck b. Hamburg, *K. Storch*, Technische Zentralstelle der Deutschen Forstwirtschaft, Hamburg.
- Heft 27: Die Beheizung von Wohngebäuden.**
 Berlin 1963, 119 Seiten DIN A 4 mit 118 Bildern und 56 Zahlentafeln. 24,25 DM.
 Untersuchungen über Einrichtungskosten, Betriebskosten und Betriebseignung verschiedener Heizungssysteme, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung.
 1. Beitrag von *W. Reiß* und *E. Töpitz*, Institut für Heizung und Lüftung der Technischen Universität Berlin: Die wirtschaftliche Beheizung kleiner Geschloßwohnungen; Untersuchungen über Einrichtungskosten, Brennstoffverbrauch und Betriebseignung verschiedener Heizsysteme sowie Messungen zur Kennzeichnung des Raumklimas.
 2. Beitrag von *H. G. Belitz* und *D. Gerdes*, Institut für Bauforschung e. V., Hannover, Institut für Thermodynamik der Technischen Hochschule Hannover: Herstellungs- und Betriebskosten verschiedener Heizungsarten bei unterschiedlicher Voraussetzung des Klimas, der Baugestaltung, der Bauausführung und der Nutzung.
- Heft 28: Holzbau-Versuche (I. Teil).**
 Berlin 1963, 74 Seiten DIN A 4, mit 109 Bildern und 41 Zahlentafeln. 24,40 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von *K. Egner* und *H. Kolb*, Otto-Graf-Institut an der Technischen Hochschule Stuttgart; *K. Möhler*, Technische Hochschule Karlsruhe.
- Heft 29: Entstehen und Verhalten ortsüblicher Außenputze. Vergleichsuntersuchungen zur Bestimmung des Mischungsverhältnisses von Mörteln.**
 Berlin 1963, 120 Seiten DIN A 4, mit 146 Bildern und 139 Zahlentafeln. 25,50 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von *W. Piepenburg* und *K. Alberti*, Köln, unter Mitwirkung der Materialprüfungsanstalten.
- Heft 30: Flachgegründete Streifenfundamente.**
 Berlin 1963, 94 Seiten DIN A 4, mit 126 Bildern und 30 Zahlentafeln. 34,50 DM.
 Beitrag zur Ermittlung der Verteilung der Normal- und Schubspannungen an der Sohle von Streifenfundamenten und zur Bemessung flachgegründeter Streifenfundamente aus unbewehrtem Beton — Versuche und Bemessungsverfahren — im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung und der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen, durchgeführt von der Deutschen Gesellschaft für Bodenmechanik, Berlin, der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) Berlin-Dahlem und dem Materialprüfungsamt der Technischen Hochschule München, und bearbeitet von *H. Bub*, München.

- Heft 31: Die Schornsteinanlage im Wohnungsgrundriß und im Gebäude**
 Berlin 1963, 93 Seiten DIN A 4, mit 101 Bildern und 22 Zahlentafeln, 21,— DM.
 Grundlagen für die bauliche Beurteilung der behördlichen Vorschriften über Lichtweite und Feuerstättenbelegung der Haus-schornsteine;
 Untersuchungen, durchgeführt im Auftrage der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen.
 von H. Belz, Institut für Heizung und Lüftung der Technischen Universität Berlin.
- Heft 32: Flachgründungen — Grundbruch und Setzungen**
 Berlin 1963, 131 Seiten DIN A 4, mit 144 Bildern und 11 Zahlentafeln, 40,50 DM.
 1. Bericht: Über die Tragfähigkeit von mittig, vertikal belasteten Flachgründungen im Sand von L. Namjoks;
 2. Bericht: Über die zulässige Belastung nichtbindender Böden von H. Muhs;
 3. Bericht: Über die zulässige Belastung bindiger Böden von S. Janke.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung.
- Heft 33: Holzbau-Versuche (II. Teil)**
 Berlin 1963, 66 Seiten DIN A 4, mit 95 Bildern und 25 Zahlentafeln, 18,40 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung,
 von K. Möhler, Technische Hochschule Karlsruhe; K. Egner und P. Jagfeld, Otto-Graf-Institut der Technischen Hochschule Stuttgart.
- Heft 34: Brandschutz — Versuche an Baustoffen**
 Berlin 1963, 94 Seiten DIN A 4, mit 105 Bildern und 25 Zahlentafeln, 23,60 DM.
 3 Berichte über Untersuchungen von Baustoffen mit dem Brandschachtverfahren u. dgl. von H. Dorn und K. Egner;
 2 Berichte über Branduntersuchungen an Dacheindeckungen von H. Seckamp und W. Becker
 1 Bericht über Branduntersuchungen an Lichtbändern aus Kunststoffen von W. Westhoff und F. Rumberg;
 1 Bericht über Untersuchungen für ein Prüfverfahren „Leichtentflammbarkeit der Baustoffe“ von H. Seckamp und G. Roeske
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung und der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen.
- Heft 35: „Luftschall, Trittschall, Körperschall“**
 Berlin 1964, 85 Seiten DIN A 4, mit 100 Bildern und 10 Zahlentafeln, 16,80 DM.
 Untersuchungen und Versuche, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von Th. Kristen, H. Schulze und R. Palasy, Braunschweig, K. Gösele und O. Burk, Stuttgart, A. Eisenberg, Dortmund und P. Schneider, Berlin.
- Heft 36: Baumaschinen für den Hoch- und Wohnungsbau**
 Berlin 1964, 95 Seiten DIN A 4, mit 120 Bildern und 22 Zahlentafeln, 16,60 DM.
 Untersuchungen über zweckmäßige Auswahl und wirtschaftlichen Einsatz, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung im Institut für Bauforschung e.V. Hannover von W. Triebel, L. Schmechel und K. H. Gajewski.
- Heft 37: Grundbau; Bodenuntersuchungen, Stahlbetonpfähle, Porenwasserdruck, Gleitwiderstand**
 Berlin 1964, 112 Seiten DIN A 4, mit 97 Bildern und 21 Zahlentafeln, 32,— DM.
 5 Berichte mit Untersuchungen und Versuchen im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung sowie anderen Stellen.
 1. „Vergleich von Meßergebnissen der Isotopensonde und der Drucksonde“ von J. Homilius und S. Lorch
 2. „Über die Tragfähigkeit von Stahlbetonpfählen“ von H. Ebner,
 3. „Entwicklung und Erprobung eines kombinierten Bohr- und Entnahmeverfahrens mit kleinem Durchmesser“ von K. F. Henke und H. Müller-Welt,
 4. „Über den Gleitwiderstand zwischen Erdstoffen und Bauwerksflächen“ von F. W. Neuffer (†), A. Leibnitz und R. Enders,
 5. „Die Theorien über den Porenwasserdruck im Erdambau und ihre Beurteilung durch Versuche und Messungen“ von B. Alpmann.
- Heft 38: Baulicher Brandschutz (Bauteile)**
 Berlin 1964, 115 Seiten DIN A 4 mit 95 Bildern und 61 Zahlentafeln, 31,— DM.
 Untersuchungen über das Brandverhalten von Bauteilen aus Stahlbeton und Spannbeton, Holz und Stahl, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung und der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen von Horst Seckamp und Wolfram Becker Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem, Theodor Kristen, Karl Kordina und Hans-Joachim Wierig, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig, Hans Dorn und Karl Egner, Otto-Graf-Institut an der Technischen Hochschule Stuttgart.
- Heft 39: Ausbildung der Fugen im Großtafelbau**
 Berlin 1964, 39 Seiten DIN A 4 mit 95 Bildern, Vergriffen
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von R. v. Halasz und G. Tantau.
- Heft 40: Fußwärme, Wärmeschutz, Sonnenwärmeeinstrahlung und Raumklima**
 Berlin 1964, 80 Seiten DIN A 4 mit 70 Bildern und 22 Zahlentafeln, 16,30 DM.
 Untersuchungen und Auswertungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von W. Schule, Institut für Technische Physik, Stuttgart, F. Roedler, G. Schluter Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Bundesgesundheitsamt Berlin-Dahlem und J. S. Cammerer Forschungsbau Tutzing/Obb.
- Heft 41: Windkräfte am Bauwerk**
 Berlin 1964, 94 Seiten DIN A 4 mit 54 Bildern, 30 grafischen Tafeln und 396 Quellenangaben, 22,40 DM.
 Untersuchungen durchgeführt mit Unterstützung des Ministeriums für Landesplanung, Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten des Landes Nordrhein-Westfalen von G. Lusch, vorgelegt von E. Truckenbrodt.
- Heft 42: Außenputze, Innenputze, Außenwandverkleidungen**
 Berlin 1965, 146 Seiten DIN A 4, mit 120 Bildern und 48 Zahlentafeln, Vergriffen.
 Untersuchungen über Wärme- und Feuchtigkeitseinwirkungen, Haftung. Durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von W. Albrecht, W. Steinbach, Otto-Graf-Institut an der Technischen Hochschule Stuttgart, Fr. Henkel, Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Hochschule München, H. Künzel, Institut für Technische Physik der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart.
- Heft 43: Putzhaftung, Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Baustoffkennwerte von Putz und Putzträgern**
 Berlin 1965, 152 Seiten DIN A 4, mit 58 Bildern und 74 Tafeln, 11,60 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von H. Weiseler, Institut für Massivbau der Technischen Hochschule Darmstadt (Direktor: Prof. Dr.-Ing. A. Mehmel).
- Heft 44: Korrosion von Metallen im Bauwesen**
 Berlin 1965, 70 Seiten DIN A 4 mit 14 Bildern und 76 Zahlentafeln, 17,60 DM.
 Untersuchungen über das Verhalten von Metallen ohne und mit Schutzüberzügen, die in Gips, Mörtel, oder Beton ohne und mit Frostschutzmitteln eingebettet waren. Durchgeführt im Auftrag des Bundesministers für Wohnungswesen, Städtebau und Raumordnung von W. Wiederholt und J. Sonntag, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem.
- Heft 45: Schubfestigkeit der Vertikalfugen und Verteilung der Horizontalkräfte im Großtafelbau.**
 Berlin 1965, 52 Seiten DIN A 4, mit 84 Bildern und 50 Zahlentafeln, 23,— DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton mit Unterstützung des Deutschen Betonvereins und der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen, R. von Halasz und G. Tantau, Berlin.

- Heft 46: Die Tragfähigkeit gemauerter Wände und Pfeiler, Untersuchungen verschiedener Einflüsse.**
 Berlin 1966, 126 Seiten DIN A 4, mit 105 Bildern und 61 Zahlentafeln. 28,80 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau von *W. Albrecht* und *H. Schneider*, Otto-Graf-Institut an der Technischen Hochschule Stuttgart; *Th. Kristen* und *B. Brandstädter*, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig; *A. Hummel* und *B. Schlotmann*, Institut für Bauforschung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen; *H. Hilsdorf* und *J. Hierl*, Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Hochschule München.
- Heft 47: Holzbau-Versuche (III. Teil).**
 Berlin 1966, 118 Seiten DIN A 4, mit 91 Bildern, 43 Diagrammen, 19 Zahlentafeln und 19 grafischen Tafeln. 30,— DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau und anderer Stellen, von *K. Köhler*, Technische Hochschule Karlsruhe; *K. Egner*, *P. Jagfeld* und *H. Kolb*, Otto-Graf-Institut der Technischen Hochschule Stuttgart; *R. v. Halász*, *E. Czesielski*, Technische Universität Berlin, Institut für Baukonstruktionen und Festigkeit.
- Heft 48: Wärme und Feuchtigkeitsschutz, Temperaturverhältnisse in Wohngebäuden.**
 Berlin 1966, 82 Seiten DIN A 4, mit 95 Bildern und 16 Zahlentafeln. 17,— DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau von *W. Frank*, *H. Künzel* und *W. Schulz*, Institut für Technische Physik der Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart.
- Heft 49: Tragfähigkeit von Pfählen, Großversuche und ihre Auswertung.**
 Berlin 1967, 101 Seiten DIN A 4, mit 204 Bildern und 40 Zahlentafeln. 26,70 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau und anderer Stellen, von *H. Petermann*, *E. Lackner* und *W. Schenck*.
- Heft 50: Schlag- und Stoßbeanspruchung von Wänden.**
 Leichte Trennwände, Außenwandelemente, Brandwände.
 Berlin 1967, 42 Seiten DIN A 4, mit 24 Bildern und 9 Zahlentafeln. 9,50 DM.
 Untersuchungen und Überlegungen, durchgeführt und ausgewertet im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau sowie der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen von *W. Struck* und *W. Böhmert*, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin; *C. Meyer-Ottens*, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig; *H. Bub*, Oberste Baubehörde im Bayer. Staatsministerium des Innern, München.
- Heft 51: Wasserdampfdurchlässigkeit und Feuchtigkeitsverteilung bei Baustoffen und Bauteilen.**
 Berlin 1968, 128 Seiten DIN A 4, mit 99 Bildern und 26 Zahlentafeln. 37,60 DM.
 Untersuchungen, durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau, von *W. Caemmerer*, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin; *J. S. Cammerer*, Tutzing/Obb.; *K. Gertis*, *H. Künzel*, *B. Schwarz* und *C. Snatzke*, Außenstelle Holzkirchen des Instituts für Technische Physik Stuttgart der Fraunhofer-Gesellschaft; *R. Jenisch*, Institut für Technische Physik Stuttgart der Fraunhofer-Gesellschaft.
- Heft 52: Kunststoffe im Wohnungsbau.**
 Ergebnisbericht des Ländervergleichsprogramms. „Rationalisierung des Innenausbauens unter besonderer Berücksichtigung von Kunststoffen, Teil A“.
 Berlin 1967, 82 Seiten DIN A 4, mit 115 Bildern und 8 Zahlentafeln. 25,—DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau von *Heinrich Th. Schmidt*, Rimbach/Odenw.
- Heft 53: Kunststoffe im Wohnungsbau, vorgefertigte Installationen.**
 Ergebnisbericht des Ländervergleichsprogramms. „Rationalisierung des Innenausbauens unter besonderer Berücksichtigung von Kunststoffen, Teil B“.
 Berlin 1967, 35 Seiten DIN A 4, mit 68 Bildern und 11 Zahlentafeln. 5,10 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau von *Gerhard Drees*, Stuttgart und *Heinrich Th. Schmidt*, Rimbach/Odenw.
- Heft 54: Verankerungspfähle für fliegende Bauten.**
 Berlin 1967, 40 Seiten DIN A 4, mit 44 Bildern und 23 Zahlentafeln. 11,20 DM.
 Untersuchungen, durchgeführt und ausgewertet im Auftrag des Ministers für Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten des Landes Nordrhein-Westfalen von *M. Kany* und *H. Becker*, Grundbauinstitut Bayerische Landesgewerbeanstalt Nürnberg.
- Heft 55: Großformatige Betonfertigteile in Tafelbauart, wirtschaftliche Voraussetzungen für die Anwendung**
 Berlin 1968, 90 Seiten DIN A 4, mit 114 Bildern und Zahlentafeln. 26,40 DM.
 Bearbeitet im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau im Institut für Bauforschung e. V., Hannover, von *W. Triebel*, *G. Achterberg* und *E. Brocher*.
- Heft 56: Schallschutz in Gebäuden**
 Leichte Wände, Schall-Längsleitung, Körperschallanregung, Lose Schüttungen.
 Berlin 1968, 80 Seiten DIN A 4, mit 82 Bildern und 16 Zahlentafeln. 25,10 DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau sowie der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen von *L. Cremer* und *A. von Meyer*, Institut für Technische Akustik an der Technischen Universität Berlin; *K. Gosele* und *C. A. Voigtsberger*, Institut für Technische Physik der Fraunhofer-Gesellschaft Stuttgart; *P. Schneider*, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin.
- Heft 57: Fußbodenbeläge und Estriche, Eigenschaften und Beanspruchungen**
 Berlin 1968, 110 Seiten DIN A 4, mit 111 Bildern und 41 Zahlentafeln. 27,— DM.
 Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau von *W. Albrecht*, *K. Egner*, *P. Jagfeld*, *M. Riedmiller*, *E. Vordermeier*, Otto-Graf-Institut an der Technischen Hochschule Stuttgart; *E. Granitz*, Bundesanstalt für Materialprüfung Berlin; *A. Eisenberg*, *W. Kuch*, Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund.
- Heft 58: Schwingungsmessungen an Bauteilen.**
 Untersuchungen, durchgeführt und ausgewertet im Auftrag des Ministers für Wohnungsbau und öffentliche Arbeiten des Landes Nordrhein-Westfalen von *R. Gasch*.
Drucksondierungen in Sand-Kies-Gemischen.
 von *H. Kahl*, *H. Muhs* und *W. Meyer*.
 Berlin 1968, 84 Seiten DIN A 4, mit 88 Bildern und 16 Zahlentafeln. 21,90 DM.
- Heft 59: Die Grenztragfähigkeit und Schiefstellung ausmittig-lotrecht belasteter Einzelfundamente im Sand nach Theorie und Versuch.**
 von *H. Muß* und *K. Weiß*.
 Berlin 1969, 82 Seiten DIN A 4, mit 91 Bildern und 11 Zahlentafeln. 22,20 DM.

Heft 60: Bauphysikalische Untersuchungen an Großtafelbauten aus Beton und Stahlbeton.

Berlin 1969, 88 Seiten DIN A 4, mit 47 Bildern und 53 Zahlentafeln. 20,– DM.

Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau sowie des Senators für Bau- und Wohnungswesen Berlin, von W. Schüle, R. Jenisch und H. Lutz, Institut für Technische Physik der Fraunhofer-Gesellschaft Stuttgart; P. Schneider, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin.

Heft 61: Brandwände, Brand- und Stoßverhalten.

Berlin 1969, 58 Seiten DIN A 4 mit 39 Bildern und 17 Zahlentafeln. DM 14,90.

Untersuchungen durchgeführt im Auftrage des Bundesministers für Wohnungswesen und Städtebau von C. Meyer-Ottens und J. Steinert, Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig.

Bei Bestellung eines Heftes ist neben der Heftfolge auch der Titel anzugeben.

Freimuster, Sept. 1969